

Universidade do Porto
Faculdade de Arquitectura

A metodologia BIM enquanto ferramenta no projecto de
arquitectura

Paulo Alberto Peixoto Ferreira

Dissertação de Mestrado em Arquitectura
Faculdade de Arquitectura da Universidade do Porto

Orientador
Professor Doutor Carlos Nuno Lacerda Lopes

Porto

2015

Agradecimentos

Agradeço ao Prof. Nuno Lacerda pela partilha de conhecimentos e disponibilidade em orientar esta dissertação; ao Daniel por todos os conselhos, apoio e amizade; e à minha família e amigos por todo o apoio.

Índice

Resumo	6
Abstract	7
Abreviaturas	9
Introdução	
1. Motivação	13
2. Objecto de Estudo	14
3. Problemática e metodologia	14
4. Organização	15
Capítulo I	
Origem do BIM	
1. Conceitos primordiais e paralelo com a computação	21
2. A visualização do modelo e o Sketchpad	21
3. Bases de dados e introdução do factor tempo	25
4. Edifício virtual	27
5. Arquitectura colaborativa e IFC	29
6. Práticas contemporâneas	30
Capítulo II	
BIM e o estado actual da indústria da construção	
1. Falta de eficiência nas abordagens tradicionais	37
2. O modelo de negócios actual da indústria AEC	38
3. Processos integrados e maior cooperação	42

Capítulo III

BIM enquanto ferramenta no projecto de arquitectura

1. Arquitectura na Era da Informação	47
2. BIM como metodologia de apoio ao arquitecto	49
3. Visão geral de como funciona o BIM	50
4. BIM na etapa conceptual do projecto	54
5. BIM no desenvolvimento do projecto	60
6. BIM na construção e fabricação	64
7. BIM pós construção e gestão do edificio	69

Capítulo IV

BIM como ferramenta para a sustentabilidade

1. Breve história do projecto sustentável	75
2. Definir projecto sustentável	76
3. Metodologia para soluções sustentáveis	79
4. BIM sustentável – forma	84
5. BIM sustentável – sistemas	90
6. Futuro das práticas sustentáveis com o BIM	97

Capítulo V

Casos de estudo

1. Helsinki Music Centre	101
2. Biblioteca Central de Manchester (remodelação)	107

BIM para lá do edificio: infra-estrutura	115
---	-----

Considerações finais	119
-----------------------------	-----

Referências bibliográficas	125
-----------------------------------	-----

Créditos de Imagem	133
---------------------------	-----

Resumo

A metodologia BIM enquanto ferramenta no projecto de arquitectura

Os métodos e ferramentas de representação arquitectónica influenciam a forma como a arquitectura é pensada e produzida. Assim como a Industrialização e o Modernismo alteraram os nossos edifícios, também a Era da Informação em que vivemos irá moldar a forma como projectámos, fabricámos e construímos edifícios.

Fruto da necessidade contemporânea de projectar os edifícios que construímos de forma mais eficiente, a metodologia Building Information Modeling (BIM) tem vindo a ser cada vez mais adoptada. Embora a sua nomenclatura seja relativamente recente, alguns dos conceitos por detrás desta forma de trabalhar têm já várias décadas, com ligações fortes aos primórdios da computação. Apesar de muitas destas ideias nos serem hoje bastante familiares, foram alcançadas através de pequenas e sucessivas descobertas. Assim, esta tese explora como os conceitos iniciais evoluíram e deram origem àquilo que é hoje o BIM; em que sentido este procura responder a questões como a falta de produtividade das práticas tradicionais na indústria da construção e a necessidade de melhor integrar as diferentes equipas na concepção do projecto; como usar estes métodos para alcançar práticas e edifícios mais sustentáveis, que nos ajudem a chegar mais depressa e de forma mais elegante a um futuro mais saudável para o planeta.

Como espécie de prova de conceito foram analisados dois casos de estudo recentes nos quais a metodologia BIM foi crucial por motivos distintos. Em primeiro, o Helsinki Music Centre, um projecto desenvolvido através de métodos tradicionais que teve de ser redesenhado com a metodologia BIM pois excedia o orçamento; e em segundo a Biblioteca Central de Manchester, uma remodelação de um edifício bastante antigo e que se encontra protegido, no qual todas as alterações tiveram de ser justificadas perante o órgão público que defende o património histórico.

Por fim é feito um olhar para aquilo que poderá ser o futuro desta metodologia e do seu conceito de construir com informação se aplicado a uma escala maior, às nossas ruas, bairros e cidades.

Palavras-chave: Building Information Modeling (BIM); Arquitectura Contemporânea; Processos de projecto; Sustentabilidade; Indústria AEC

Abstract

BIM methodology as a tool in architecture project

Architectural representation tools and methods influence the way architecture is thought and created. The same way Industrialization and Modernism changed our buildings, the Information Age we live in will too shape the way we design, manufacture and build.

As a result of the contemporary need to design buildings more efficiently, BIM methodology is being increasingly adopted. Although its nomenclature is relatively new, some of the concepts behind this way of working are several decades old with strong ties to early days of computation. Despite these ideas being very familiar today, they were achieved through small, successive discoveries. Thus, this thesis exploits how the initial concepts have evolved and gave rise to what is now BIM; how it plans to address questions such as the lack of productivity of traditional practices in the construction industry and the need for better integration of the different teams in project design; how to use this methods to achieve more sustainable practices and buildings, to help us reach a faster and more elegant way to a healthier future for the planet.

As proof of concept two recent case studies were analyzed in which BIM methodology played a crucial role for different reasons. First, the Helsinki Music Centre, a project developed through traditional methods that had to be redesigned with BIM because it exceeded the budget; and second the Manchester Central Library, the refurbishment of a listed building in which all changed had to go through English Heritage for approval.

Lastly, we take a look at what may be the future of this methodology and concept of buildings with information if applied on a larger scale, to our streets, neighborhoods and cities.

Keywords: Building Information Modeling (BIM); Contemporary Architecture; Design Processes; Sustainability; AEC Industry

Abreviaturas

AVAC Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

AEC Arquitetura, Engenharia e Construção

BDS Building Description System

BIM Building Information Modeling

CAD Computer-Aided Design

DB Design-Build

DBB Design-Bid-Build

GLIDE Graphical Language for Interactive Design

IFC Industry Foundation Classes

IPD Integrated Project Delivery

Introdução

1 Motivação

O meu interesse mútuo tanto por arquitectura como por tecnologia e inovação faz da metodologia BIM uma escolha natural. Embora não se trate exactamente de uma tecnologia recente (pois alguns dos seus conceitos vêm sendo desenvolvidos há várias décadas), a sua adopção a uma escala global tem ganho proeminência nos últimos anos.

Um dos conceitos centrais nesta forma de trabalhar é o da parametrização. Isto significa que, através do estabelecimento de parâmetros, os objectos de determinado modelo “entendem” a sua relação com o meio e ajustam-se em conformidade com as alterações que são efectuadas. O meu primeiro contacto com estas capacidades surgiu no ano de 2012, na cadeira de Geometria Construtiva [Fig. 1], leccionada pelo professor José Pedro Sousa e que despertou o meu interesse para alguns temas da arquitectura digital. Posteriormente, tive um contacto mais próximo com a metodologia BIM em geral no ano de 2014, com a cadeira de Projecto BIM [Fig. 2], leccionada pelo professor Nuno Lacerda, e que me motivou a aprofundar os conhecimentos deste tema.

Dado que esta forma de trabalhar em arquitectura promete resolver diversos problemas que os arquitectos e profissionais da indústria da construção enfrentam hoje em dia, não só me parece pertinente explorar a sua aplicação ao processo de projecto em arquitectura como acredito que possa vir a revelar-se uma mais-valia no meu futuro profissional.

Figura 1
Exercício de modelação paramétrica
desenvolvido em Geometria Construtiva

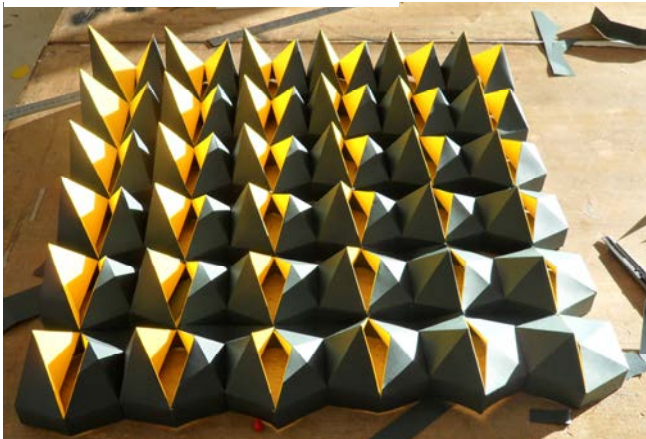


Figura 2
Modelo BIM da Habitação na Praça de Liège de
Souto Moura, desenvolvido em Projecto BIM



2 Objecto de estudo

O objecto de estudo desta dissertação é metodologia BIM, especificamente a sua implementação no processo de projecto. Neste sentido a tese está dividida com um carácter cronológico no que se refere a esta aplicação:

- Origem e pertinência da metodologia (passado);
- Aplicação em práticas correntes para maior eficiência (presente);
- Perspectiva para soluções mais sustentáveis (futuro).

3 Problemática e metodologia

A produção arquitectónica é influenciada ao longo dos tempos por novos métodos de representação, convenções e exigências. É expectável que as novas formas de representar e desenhar adoptadas na Era da Informação em que vivemos desempenhem um papel crucial na redefinição de práticas e normas, dando origem a novas maneiras de fazer arquitectura.

Associado às novas possibilidades geométricas que as tecnologias recentes da arquitectura digital possibilitam, o BIM tornou-se um termo muito discutido mas também algo incompreendido. BIM não é um produto mas antes uma metodologia que foi evoluindo com o tempo – modelar edifícios com informação. Hoje em dia os edifícios têm cada vez mais qualidade e conforto, mas requerem mais documentação e sistemas especializados. Coordenar estas questões é um processo delicado e cada vez mais dispendioso mas ao qual esta metodologia procura dar resposta.

Neste sentido, a problemática consiste em analisar como o BIM pode ser introduzido no processo de projecto com o intuito de tornar mais eficiente o trabalho dos arquitectos e outros profissionais da indústria da construção. Procurando levar este tema mais longe são também abordadas questões para o desenvolvimento do desenho sustentável deste processo, mantendo uma perspectiva de futuro para a prática arquitectónica e a metodologia BIM.

Para tal, a bibliografia consultada procura simultaneamente abranger um grande período de tempo no que diz respeito à evolução do BIM e ao mesmo tempo ser extremamente focada nos desenvolvimentos, informações e práticas mais actuais no que se refere o processo de projecto e o desenho sustentável. Assim, existem duas

referências bibliográficas incontornáveis: Charles Eastman porque é uma espécie de “pai do BIM” (Laiserin, 2008), tendo estudado tanto Ciência da Computação como Arquitectura, contribuindo para esta metodologia praticamente desde que os seus conceitos primordiais surgiram há várias décadas e até aos dias de hoje; e Krygiel e Nies no que diz respeito à mais recente aplicação do BIM ao desenho sustentável, não só pela exposição de conhecimentos teóricos como pelos exemplos práticos partilhados.

4 Organização

De modo a fazer um retrato abrangente da relevância do BIM na prática da arquitectura, esta dissertação procura desenvolver uma visão completa, desde os seus conceitos primordiais às perspectivas de futuro que esta metodologia deixa transparecer. Neste sentido a dissertação tem a seguinte organização:

Capítulo I, Origem do BIM

Este capítulo explora o contexto histórico do BIM, cronologicamente retratando a evolução desta metodologia até aos nossos dias. Desde as primeiras influências da ciência da computação podemos estabelecer uma ligação entre cada nova descoberta e aquilo que o *software* dedicado a esta forma de trabalhar é hoje capaz de produzir. São exploradas questões como a introdução de uma interface gráfica, o uso de uma base de dados de materiais e ferramentas específicas para trabalho colaborativo que influenciaram aquilo que são as práticas contemporâneas e as possibilidades nunca antes existentes que estas introduziram.

Capítulo II, BIM e o estado actual da indústria da construção

Tendo em conta o estado da arte explorado na Parte I, este capítulo identifica os principais problemas actualmente presentes na indústria da construção e a forma como a metodologia BIM se apresenta como uma mudança de paradigma, oferecendo maneiras de os encarar e solucionar. Para tal são enumerados os modelos de negócio mais comuns actualmente utilizados na indústria AEC, explicando como funcionam e quais as principais vantagens e desvantagens de cada um. Por comparação é introduzido um método mais recente e que se apoia nas ideias da metodologia BIM exploradas neste capítulo, introduzindo algumas das potencialidades desta forma de trabalhar.

Capítulo III, BIM enquanto ferramenta no projecto de arquitectura

Este capítulo explora as diversas maneiras em que metodologia BIM funciona como uma ferramenta às ordens do arquitecto no processo de desenho de um edifício. É contextualizada perante as questões da Era da Informação em que nos encontramos, procurando dar uma visão geral da sua aplicabilidade. Posteriormente são identificadas e exploradas questões específicas de cada uma das diferentes fases na concepção de um projecto, nomeadamente a etapa inicial conceptual, a fase de desenvolvimento, a construção e fabricação e finalmente a pós-construção e gestão do edifício.

Capítulo IV, BIM como ferramenta para a sustentabilidade

Enquanto a Parte III explora como a metodologia BIM pode ajudar o arquitecto a desempenhar as suas tarefas de uma forma mais eficiente, este capítulo procura explorar como ir mais além e usar o BIM para criar edifícios mais sustentáveis. É apresentada uma breve história e definição do desenho sustentável, bem como diversas metodologias para obter resultados mais amigos do ambiente. Estas são divididas na categoria de “forma” e “sistema” no processo de projecto, sendo explorada a sua aplicação através de ferramentas BIM.

Capítulo V, Casos de estudo

Este capítulo recorre à análise de dois edifícios aos quais foi aplicada a metodologia BIM recentemente. Tem o objectivo de demonstrar diversas questões exploradas na Parte III e IV, funcionando como uma espécie de prova de conceito. O primeiro foi o Helsinki Music Centre, uma nova construção; e o segundo foi a Biblioteca Central de Manchester, uma remodelação. O carácter diferente destes dois projectos serve para demonstrar a versatilidade desta metodologia, procurando identificar em que tipo de situações se distingue.

Considerações finais

Por fim são apresentadas algumas considerações que o exercício desta dissertação despertou, sobre o BIM, a prática de arquitectura e o olhar para o futuro.

Capítulo I

Origem do BIM

1 Conceitos primordiais e paralelo com a computação

Nem o conceito nem a nomenclatura *Building Information Modeling* (BIM) são novos. Segundo Laiserin (2008), apesar do termo ter três décadas, os seus conceitos, abordagens e metodologia podem ser datados de há pelo menos quatro, tendo sido influenciados por ideias ainda mais antigas. Bergin (2011) diz que alguns destes conceitos base dos sistemas BIM remontam aos primórdios da computação. Há mais de meio século, Douglas C. Engelbart (1962) descreveu uma visão do arquitecto do futuro no seu *Augmenting Human Intellect*, onde explora a ideia de aumentar a capacidade humana para abordar problemas complexos e compreendê-los de acordo com as nossas necessidades, resolvendo problemas que pareciam antes não ter solução. O exemplo descreve um arquitecto a introduzir uma série de dados e especificações num computador. Quando este termina, uma estrutura aparece num ecrã, a qual o arquitecto examina, ajusta e reajusta. Volta a adicionar e modificar a lista de especificações e considerações, que cresce e se torna cada vez mais numa estrutura detalhada e interligada e que representa o pensamento por detrás do projecto real. Bergin (2011) afirma que aquilo que Engelbart sugeriu já é um método de desenho orientado a objectos, manipulável de forma paramétrica e com uma base de dados relacionável, “sonhos que se viriam a tornar realidade anos mais tarde”.

Nesta altura existia já uma longa lista de investigadores com uma influência considerável naquilo que mais tarde se viria a tornar o BIM, no entanto, por mais planeados e robustos que os seus sistemas fossem na altura, os seus conceitos não poderiam ser atingidos sem uma interface gráfica como base, através da qual fosse possível interagir.

2 A visualização do modelo e o Sketchpad

Os programas de modelação de sólidos que começaram a aparecer nos anos 70 e 80 devem muito aos primeiros programas de interface gráfica (Bergin, 2011), em particular ao Sketchpad de Ivan Sutherland, que começou a ser desenvolvido em 1963. Alan Blackwell e Kerry Rodden referem que este é um dos programas de computador “mais influentes alguma vez escritos por um indivíduo”, tendo sido reconhecido em 1988 com o prémio Turing pelas contribuições duradouras que trouxe à computação (Sutherland, 2003, p. 3).

Desenvolvido no Laboratório Lincoln do MIT, em Lexington, Massachusetts, um grande centro de pesquisa com o intuito de melhorar a relação entre o Homem e a máquina, em particular através do programa *Computer Aided Design Project* (Fitch, 1964), o Sketchpad em si teve distribuição limitada (visto que era exclusivo para a máquina TX-2 personalizada usada no MIT Lincoln) [Fig. 1.01], no entanto a sua influência foi através das suas ideias e não da sua execução. A dissertação, na qual Sutherland as descreveu, foi um canal crítico através do qual estas foram propagadas, bem como no filme de demonstração do programa, *Science Report* (Sutherland, 2003, p. 3). Neste, Steven Coons diz a John Fitch (1964) que lhe vai mostrar um homem a “falar” com um computador de uma forma muito diferente daquilo que alguma vez fora possível: “esta é uma forma gráfica, e o computador vai entendê-la.” Steven Coons compara a prática a um *designer* a resolver um problema que não sabe à partida qual é nem exactamente como solucionar, mas que, progressivamente, irá investigar ideias com o computador em máxima cooperação. O método convencional de resolver problemas com um computador até então implicava conhecer muito bem o problema e ter a noção exacta dos passos necessários a tomar para o resolver, com o computador a comportar-se, de certa forma, “como uma máquina calculadora muito elaborada”. Em contrapartida, com o Sketchpad, o computador comporta-se quase como um “assistente humano, que parece ter inteligência própria” (Fitch, 1964), moldando uma actividade que começava assim a estabelecer um paralelo com a prática da arquitectura.



Figura 1.01
Ivan Sutherland usando o
Sketchpad na máquina TX-2,
MIT Lincoln

Originalmente, o objectivo de Sutherland (2003, p. 3) era de tornar os computadores mais acessíveis a novas classes de utilizador (artistas e desenhadores, entre outros), mantendo o poder de abstracção necessário aos programadores. Curiosamente, a manipulação directa que estas interfaces gráficas permitiram acabou por reduzir este nível de abstracção a que o utilizador é exposto. Timothy Johnson (Fitch, 1964) demonstra a forma como se tornou possível comunicar com o computador de uma forma gráfica, explorando o uso de uma caneta óptica (uma espécie de antecessor do rato), permitindo ao utilizador apontar e interagir com os objectos exibidos no ecrã, antecipando assim muitas das interacções que se viriam a tornar convencionais no futuro, como o exemplo de clicar num botão para seleccionar, arrastar e modificar um objecto (Sutherland, 2003, p. 3).

Tal como muitas das primeiras publicações da Ciência da Computação, o trabalho de Sutherland revelou-se muito interessante na forma como explorou conceitos importantes que hoje nos são familiares mas que na altura foram alcançados através de pequenas e sucessivas descobertas (Sutherland, 2003, p. 4). São vários os exemplos que têm interesse particular para a compreensão de como surgiram alguns conceitos da metodologia BIM e suas aplicações. O primeiro, demonstrado na reportagem vídeo (Fitch, 1964) mostra três segmentos de recta que convergem num único ponto. Num método manual, tudo o que teríamos seria aquele desenho particular, no entanto, como o computador “percebe” a geometria do desenho, é possível mover o ponto que estes segmentos têm em comum, e não só o ponto se irá mover, como os segmentos se irão adaptar a esta nova informação [Fig. 1.02].

Outro exemplo tem a ver com o início do processo de desenho. À semelhança da forma como o arquitecto aborda a sua actividade, o Sketchpad já permitia que se representasse uma ideia inicial que vai sendo refinada e ajustada à medida que temos mais certezas do resultado que procurámos, permitindo que os critérios

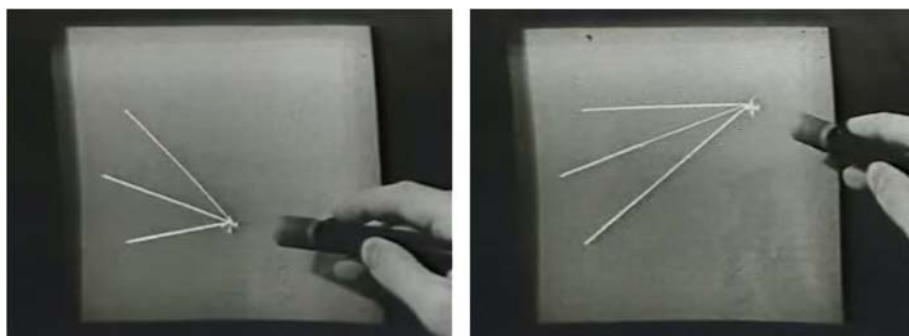


Figura 1.02
Sketchpad, exemplo do
movimento de 3 segmentos de
recta com ponto comum

correspondentes sejam gradualmente inseridos para a reflectir. Assim, deixa de ser necessário saber qual é a forma exacta (a solução) antes de começar a desenhá-la (Fitch, 1964).

A criação de desenhos altamente repetitivos ou rigorosos foi também facilitada (Sutherland, 2003, p. 9) com a possibilidade de identificar um determinado elemento do desenho como “mestre”. Este podia ser reproduzido em série, o que se revelou bastante útil. Na eventualidade deste desenho mestre ter de ser alterado devido a um erro que apenas nos apercebemos posteriormente, era possível corrigir o elemento base. Assim, ao contrário dos processos manuais em que seria necessário repetir a correcção para todas as instâncias do elemento duplicado, as modificações efectuadas no desenho “mestre” são automaticamente aplicadas às suas cópias, sendo instantânea a sua actualização [Fig. 1.03]. Adicionalmente, o Sketchpad tinha já ferramentas adaptadas à tridimensionalidade que permitiam não só visualizar como também desenhar, tanto *wireframe* como superfícies sólidas e até mesmo intersecções (Fitch, 1964).

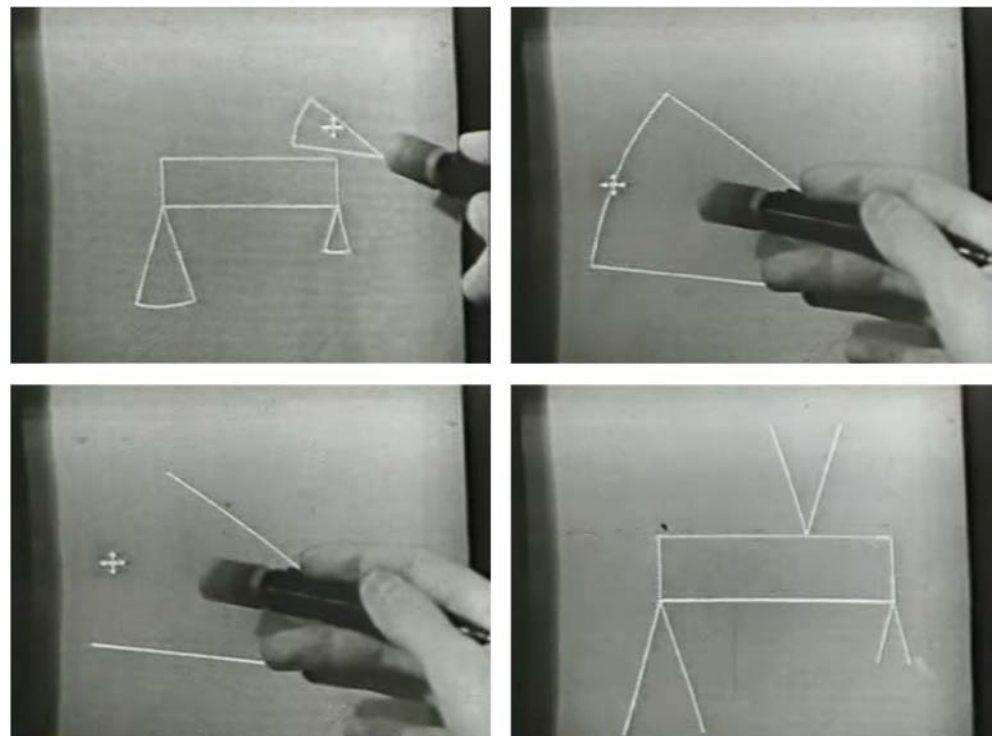


Figura 1.03
Sketchpad, exemplo de
correcção de um desenho
“mestre”

3 Bases de dados e introdução do factor tempo

O passo seguinte foi a criação de base de dados. Bergin (2011) refere que a sua introdução na arquitectura contribuiu para a repartição da mesma nos seus componentes constituintes, que precisavam de uma taxonomia própria. Um dos primeiros projectos a criar uma base de dados com sucesso foi o *Building Description System* (BDS), que usava uma biblioteca de elementos que podiam ser seleccionados e adicionados ao modelo. Usando uma interface gráfica com vistas ortográficas e perspectivas, o programa permitia retirar informação por atributos, incluindo o tipo de material e o seu fornecedor.

O criador deste projecto, Chuck Eastman, que estudou arquitectura em Berkeley e Ciência da Computação na Universidade Carnegie Mellon, dizia que os desenhos utilizados para construção eram inefficientes e causavam redundâncias. Criticava também os desenhos em papel devido à sua tendência para se deteriorarem ao longo do tempo e não serem capazes de representar o edifício à medida que renovações iam sendo feitas (Bergin, 2011), visto que nestas situações só muito raramente os desenhos são actualizados. Em 1975, o seu trabalho já continha ideias que hoje podem ser consideradas rotineiras, no entanto, segundo Laiserin (2008, p. xi) representam o primeiro exemplo documentado de conceitos a que hoje chamamos BIM, tais como projectar com “elementos interactivamente definidos, gerando cortes, plantas, desenhos isométricos ou perspectivas a partir dos mesmos elementos. (...) Qualquer mudança teria de ser feita apenas uma vez para todos os futuros desenhos serem actualizados. Os desenhos derivados do mesmo conjunto de elementos seriam automaticamente consistentes (...) e qualquer análise quantitativa poderia ser directamente ligada à sua descrição. Estimativas de custo ou quantidades de materiais poderiam ser facilmente geradas, (...) providenciando uma única e integrada base de dados para análises visuais e quantitativas (...) e verificação automática do código de construção no município ou no escritório do arquitecto. Empreiteiros de grandes projectos poderão achar esta representação vantajosa para agendamento e encomenda de materiais.”

Eastman acreditava que o BDS iria ser capaz de reduzir os custos de projecto através de eficiências ao nível do desenho e análise. Este *software* foi escrito antes da idade dos computadores pessoais e foram poucos os arquitectos que tiveram acesso ao

mesmo, não sendo claro se algum projecto alguma vez fora realizado recorrendo às suas possibilidades. No entanto, foi uma experiência importante que identificou alguns problemas fundamentais a ser desenvolvidos nos anos que se seguiriam (Bergin, 2011). O seu projecto seguinte, *Graphical Language for Interactive Design* (GLIDE) desenvolvido em 1977, representou uma tentativa de organizar as funcionalidades e operações de uma base de dados para a projecção de sistemas físicos (edifícios, barcos, máquinas, ou seja, artefactos feitos de componentes tridimensionais nos quais a organização espacial é um factor importante). O GLIDE [Fig. 1.04] procurava providenciar uma representação eficiente e suficientemente detalhada para a concepção e construção, beneficiando do facto de uma representação tridimensional garantir que as projecções 2D geradas seriam consistentes (Eastman & Henrion, 1977).

Nos anos 80 foi introduzido pela primeira vez num *software* o conceito de faseamento temporal de processos de construção (Bergin, 2011), o *Really Universal Computer Aided Production System* (RUCAPS). Apesar da geometria que este *software* era capaz de produzir nesta altura ser ainda limitada e o *hardware* necessário para o operar ser caro (Day, 2002), foi usado para assistir na construção do terminal 3 do aeroporto de Heathrow (Laiserin, 2008, p. xii). Isto marcou uma nova fase de desenvolvimento do BIM pois atraiu um conjunto de estudantes de doutoramento e colaboradores na indústria para continuarem o desenvolvimento destes modelos a “quatro dimensões”, aos quais o faseamento de construção podia ser aplicado. Se por um lado ferramentas especializadas em várias disciplinas que sirvam a indústria da construção e melhorem o acto de construir continuaram a ser desenvolvidas, por outro lado surgiu a ideia do modelo enquanto protótipo que possa ser testado e

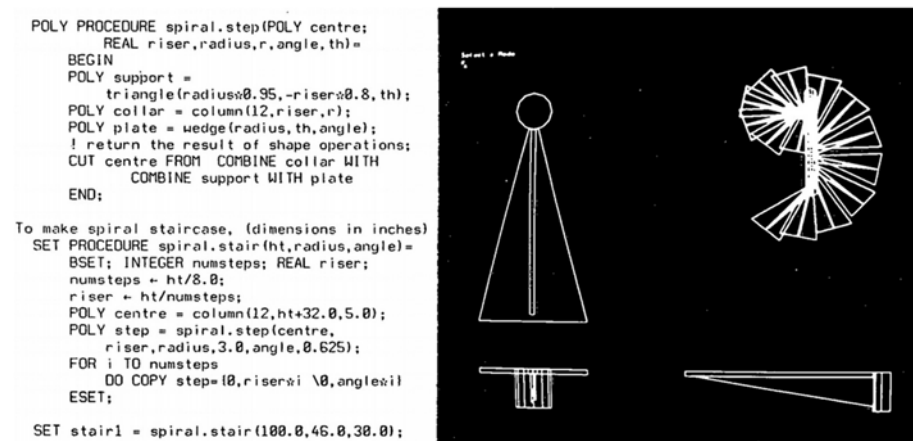


Figura 1.04
GLIDE, desenvolvido em
1977 por C. Eastman

analisado para vários critérios de performance, duas tendências no desenvolvimento do BIM que se continuariam a ser desenvolvidas no curso de mais duas décadas (Bergin, 2011).

4 Edifício Virtual

Enquanto nos Estados Unidos estavam a acontecer rápidos desenvolvimentos, da Europa surgiram dois programadores que eventualmente iriam moldar o mercado BIM actual. Gábor Bojár começou o desenvolvimento do ArchiCAD em 1982, sob o nome de Radar CH, usando tecnologia semelhante à do BDS (Bergin, 2011). Segundo Bojár (Arnold, 2002), “os arquitectos precisam de sistemas sofisticados e, mais importante, não têm muito dinheiro”. Como as exportações para países comunistas eram restringidas na altura, os programadores húngaros estavam habituados a computadores pouco sofisticados. “Isso significava que tinham experiência em produzir *software* relativamente complicado que podia correr em *hardware* relativamente modesto”. Lançado no mercado em 1984, o Radar CH [Fig. 1.05] tornou-se no primeiro *software* BIM disponível num computador pessoal.

Por sua vez, em 1985, Leonid Raiz e Irwin Jungreis procuraram desenvolver um *software* capaz levar o poder da modelação paramétrica à indústria da construção. Lançaram o Revit no ano 2000, que foi adquirido pela Autodesk dois anos depois.



Figura 1.05
Radar CH (posteriormente
ArchiCAD), visualização de
modelo em 1984

Segundo Bergin (2011), o Revit revolucionou o BIM ao criar uma plataforma que utiliza um ambiente visual para a criação de famílias paramétricas, permitindo adicionar o atributo de tempo a determinado componente, associando assim a quarta dimensão ao modelo de construção. Isto permitiu aos empreiteiros agendar a construção baseada nos modelos BIM, simulando o seu processo.

Um dos primeiros projectos a adoptar o Revit como ferramenta para o desenho e construção foi o One World Trade Center [Fig. 1.06, 1.07], anteriormente conhecido como Freedom Tower. O projecto foi completado com uma série de modelos BIM interligados que, sujeitos a uma calendarização, providenciaram estimativas de custo e listas de quantidades em tempo real. Embora a construção deste edifício tenha sido afectada por questões políticas (Bergin, 2011), o recurso a um modelo e partilha de dados melhorou a coordenação entre as diversas disciplinas. Para além disto, reuniões regulares integrando estas disciplinas, com recurso ao modelo tridimensional deram uma garantia de maior qualidade, não só reduzindo o tempo gasto em revisões mas também o número de pedidos de informação (Day, 2005).

As melhorias na coordenação e eficiência no local de construção foram um catalisador no desenvolvimento de *software* integrado que possa ser usado para interagir simultaneamente com os modelos de arquitectos, engenheiros e empreiteiros



Figura 1.06
One World Trade Center,
modelo BIM

Figura 1.07
One World Trade Center,
alçado

(Bergin, 2011), fazendo do One World Trade Center um testemunho da adopção inicial do BIM (Day, 2005).

5 Arquitectura colaborativa e IFC

Com o desenvolvimento de *software* específico para engenheiros mecânicos e de estruturas, notou-se um impacto na forma como a indústria colabora. Tornou-se possível que várias disciplinas estejam a trabalhar simultaneamente num determinado projecto, tendo acesso a todo o seu conteúdo (mas só podendo modificar aquele que lhe foi determinado). Esta característica do *software* BIM permitiu que equipas maiores de arquitectos e engenheiros trabalhassem num modelo integrado. No entanto, dado que tanto arquitectos como engenheiros fazem uso de uma grande variedade de aplicações, a colaboração por vezes torna-se difícil. Diferentes formatos de ficheiros perdem fidelidade à medida que são movidos através de plataformas diferentes, especialmente em modelos BIM nos quais a informação é hierárquica e específica (Bergin, 2011). Assim, tornou-se importante implementar mecanismos que garantam níveis de interoperabilidade fiáveis (de ANDRADE & Ruschel, 2010), sobretudo

Neste sentido, de modo a combater este tipo de ineficiências, desde 1995 tem vindo a ser desenvolvido o *Industry Foundation Classes* (IFC), um formato de dados neutro que se tornou uma mudança de paradigma. Embora ainda não seja possível obter a garantia de uma transferência de dados completamente isenta de erros (Pedroto & Martins, 2012), com a sua introdução foi estabelecida uma estrutura de trabalho unificada para a geração, documentação e troca de dados de todo o edifício, abrindo as portas, pela primeira vez, a uma fácil descrição e troca de informação de todos os parâmetros e processos (Markova, Dieckmann, & Russel, 2013) entre aplicações BIM. Segundo Pedroto e Martins (2012) o recurso ao IFC é ainda fomentado pela “capacidade de representação de dados e planos de trabalho em áreas tão diferentes como: cálculo estrutural, projecto de infra-estruturas, análises energéticas, análises ambientais, simulações, entre outros”.

Assim, Markova et al. (2013).refere que enquanto o IFC é a “estrutura do conteúdo dos objectos e a sua organização hierárquica” (geométrica, temporal,

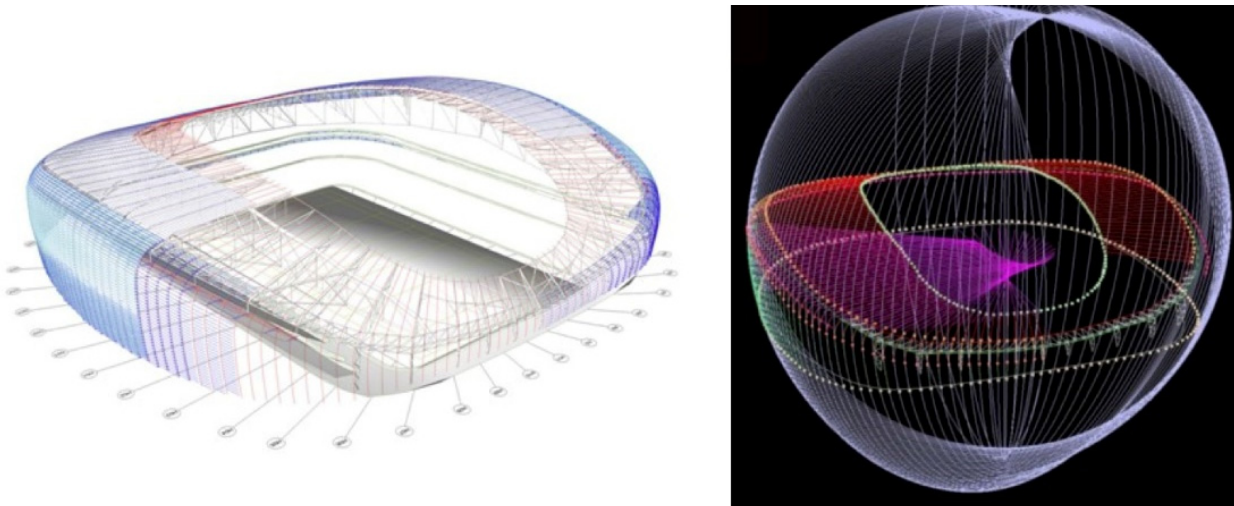
material etc), o BIM é “o ambiente no qual estes objectos existem numa interdependência paramétrica que se estende para lá da simples geometria e forma”

6 Práticas contemporâneas

Tendo em conta a popularidade que esta metodologia tem ganho nos últimos anos, é natural que o termo se tenha tornado uma espécie de chavão na indústria AEC. Bergin (2011) diz que algumas pessoas têm tido uma postura negativa perante o BIM e a parametrização pois presumem tanto sobre a sua aplicação no processo de projecto que limitam a produção de trabalho ao conhecimento que o utilizador tem do programa. Na sua opinião isto pode permitir a um arquitecto inexperiente que aprendeu comandos básicos ser prolífico enquanto um experiente arquitecto seja afectado pela falta de conhecimento da interface e conceitos subjacentes de determinado programa, criando uma potencial ruptura entre gerações, que se torna maior à medida que novas tecnologias e plataformas ganham paridade de mercado. Algumas dessas plataformas BIM como o Generative Components da Bentley Systems [Fig. 1.08] e o Digital Project da Gehry Technologies, apesar de ainda terem uma cota de mercado reduzida, já protagonizaram grandes impactos na indústria. Focados na flexibilidade paramétrica, estas plataformas têm gerado uma espécie de revolução visto que “o seu poder de iterar e transformar tem resultado em formas arquitectónicas especialmente complexas e provocadoras” (Bergin, 2011).

Figura 1.08
Aviva Stadium, modelo
paramétrico desenvolvido com
o Generative Components

Cunhado por Patrick Schumacher (2008), o termo *parametricismo* pretende descrever o movimento de modelos arquitectónicos paramétricos, em particular os que recorrem a superfícies não uniformes. No seu *Parametricist Manifesto*,

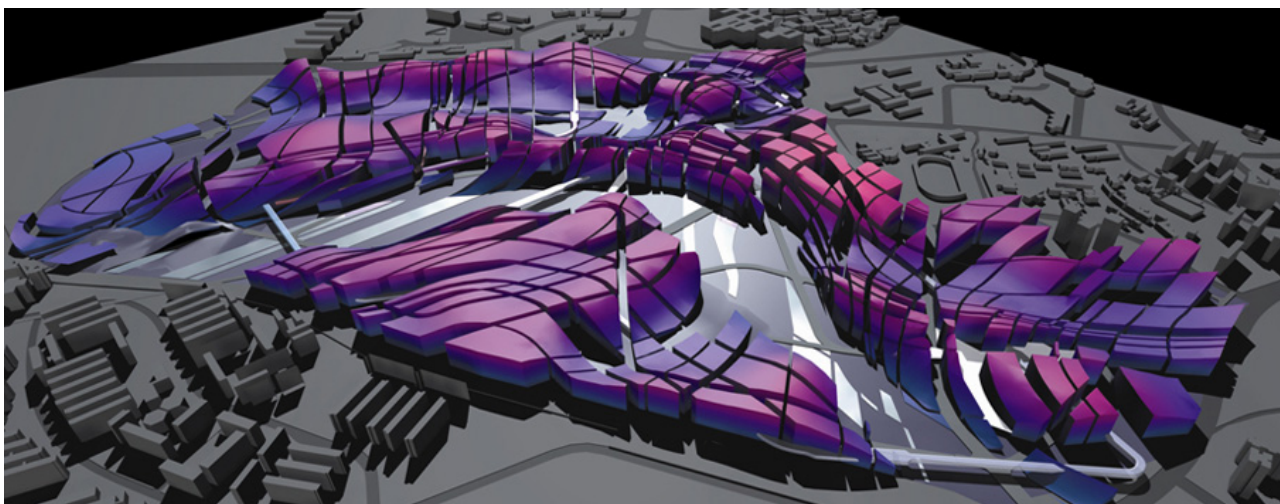


Schumacher diz que os avanços no deste movimento estão relacionados tanto com o avanço contínuo das tecnologias de desenho computacional como com a percepção do arquitecto das oportunidades formais e organizacionais únicas que este oferece, sendo hoje impossível competir com a cena contemporânea vanguardista sem dominar estas técnicas. Na sua opinião, as qualidades deste movimento são tais que considera o *parametricismo* como o sucessor do “Modernismo como a próxima onda de inovação sistemática”, colocando assim termo à “fase de transição da incerteza gerada pela crise do Modernismo e marcada por uma série de episódios arquitectónicos relativamente curtos que incluem o Pós-modernismo, Desconstrutivismo e Minimalismo” (Schumacher, 2009).

Schumacher (2009) diz ainda que quanto maior o projecto, mais pronunciada é a superior capacidade do *parametricismo* de articular a complexidade programática, sendo enorme o seu potencial urbanístico, como demonstrado por uma série de planos directores vencedores de competições desenhados por Zaha Hadid [Fig. 1.09].

Apesar da tecnologia e conceitos gerais do BIM já terem várias décadas, só recentemente é que a indústria começou a aperceber-se dos potenciais benefícios que estes apresentam. Bergin (2011) acredita que à medida que nos aproximamos de uma altura em que a maioria dos edifícios estão a ser concebidos de forma digital, irá surgir um mercado onde é possível comprar e vender materiais de construção e componentes estruturais localmente, reforçado por práticas sustentáveis. Na sua opinião, as novas tendências em Interação Humano-Computador, Desenho e Construção Virtual, Computação na Nuvem, Design Generativo e Realidade

Figura 1.09
One North Masterplan,
Zaha Hadid 2001-2003,
Urbanismo paramétrico



Aumentada [Fig. 1.10] continuam a influenciar rapidamente o desenvolvimento das tecnologias BIM de tal forma que é fácil entender o “presente como um período excitante (...) nesta indústria em evolução”.



Figura 1.10
Exemplo de Realidade
Aumentada com um
modelo BIM

Capítulo II

BIM e o estado actual da indústria da construção

1 Falta de eficiência nas abordagens tradicionais

O gráfico desenvolvido pelo *Center for Integrated Facility Engineering* na Universidade de Stanford [Fig. 2.01] compara a evolução da produtividade na área da construção (linha cinzenta) nos Estados Unidos com as indústrias *non-farm*¹ (linha preta) durante um período de 45 anos, desde 1964 a 2009, ilustrando como as práticas tradicionais contribuem para erros e desperdícios desnecessários. Os dados foram calculados dividindo o valor dos contratos constantes (a partir do Departamento de Comércio) pelos trabalhadores e horas de trabalho dos respectivos contratos. Estes incluem custos arquitectónicos e de engenharia, bem como dos materiais e entrega de componentes externos no local de construção. Enquanto neste período de tempo a produtividade das indústrias *non-farm* duplicou, a indústria da construção aparenta ser manter valores similares ao ano de 1964 (Eastman, Teicholz, Sacks, & Liston, 2011, pp. 10-11).

Dado que melhorias sustentáveis na produtividade estão associadas com progresso económico (pois geram aumentos não inflacionários dos salários), estes valores são indicadores importantes. Embora seja extremamente difícil calcular e interpretar estes dados, em geral os dados macroeconómicos da maioria dos sectores da economia dos EUA demonstram melhorias substanciais neste período de tempo, sendo a indústria da construção a excepção notável. Esta torna-se ainda mais

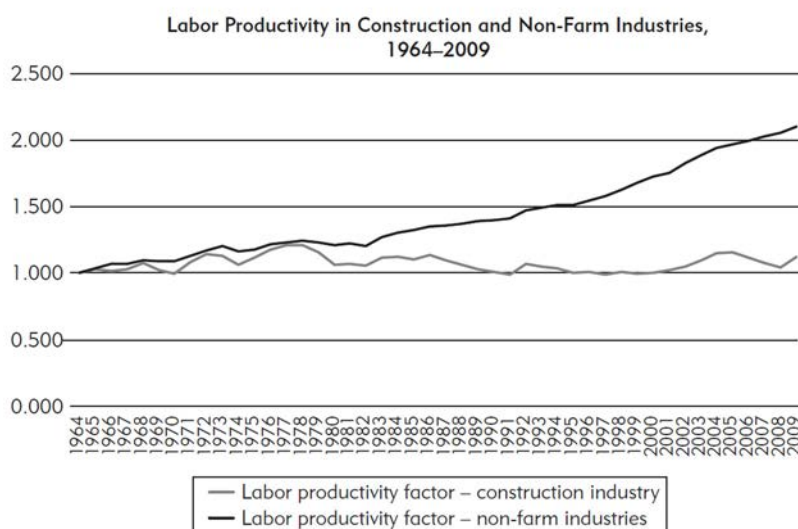


Figura 2.01
Índices de produtividade
da indústria de construção
e indústrias não-agrícolas,
1964-2009 EUA

¹ Nome dado à compilação de empresas de bens, construção e manufatura que exclui empregados governamentais, domésticos, de organizações sem fins lucrativos e agrícolas. É um indicador estatístico e económico influente que representa cerca de 80% do PIB

preocupante quando comparada com a produtividade das indústrias da manufatura, que no período de 1979-1998 praticamente duplicou o rendimento por hora dos seus trabalhadores enquanto a indústria da construção se manteve praticamente inalterada (Rojas & Aramvareekul, 2003). Naturalmente, muitos materiais e tecnologias foram desenvolvidos neste período e a qualidade dos edifícios aumentou substancialmente. No entanto os produtos industrializados são hoje mais complexos mas, com recurso a processos automatizados, podem ser produzidos a um menor custo e com maior qualidade. O mesmo não pode ser dito para a indústria da construção e as suas práticas.

Segundo Eastman (2011, pp. 12-13), apesar dos motivos para o aparente decréscimo de produtividade na área da construção não serem totalmente entendidos, as estatísticas apontam para impedimentos estruturais dentro da própria indústria. É claro que as eficiências alcançadas na indústria da manufatura através da automatização, uso de sistemas de informação, melhor gestão de recursos e melhoria das ferramentas de colaboração ainda não se reflectiram na indústria da construção. Outra causa possível para a estagnação da produtividade é o facto da construção no local não ter beneficiado de forma significativa da automatização, dependendo assim do treino qualificado da mão-de-obra.

2 O modelo de negócios actual da indústria AEC

Segundo Reddy (2012, p. 2), o BIM é uma mudança de paradigma. Na maioria dos casos, uma mudança destas acontece muito depressa, no entanto, a indústria da Arquitectura, Engenharia e Construção (AEC) está a adoptar esta nova realidade lentamente. Na sua opinião, a principal razão para esta lenta adaptação tem a ver com a natureza do sistema construtivo em geral, que existe num ambiente altamente fragmentado. Eastman (2011, p. 2) considera que a fragmentação do processo construtivo e o uso de métodos de comunicação exclusivamente 2D como forma de partilha de informação é extremamente propício a erros e omissões, frequentemente causando custos imprevistos, atrasos e eventualmente dando origem a processos judiciais entre vários intervenientes num projecto. Um dos problemas mais comuns associado com esta forma de comunicação é o tempo considerável necessário para gerar informação para avaliação crítica sobre uma determinada proposta, incluindo as suas estimativas de custo, análises energéticas, detalhe

estrutural, etc. Estas análises são normalmente feitas no fim, quando muitas vezes já é tarde demais para fazer alterações drásticas à solução. Dado que estas melhorias iterativas não acontecem durante a fase de projecto, é usual ter de se fazer adaptações futuras para dar resposta às inconsistências criadas, muitas vezes comprometendo as ideias originais do projecto.

Existem alguns métodos dominantes na forma como os edifícios são projectados e construídos hoje em dia, cada um com diversas variantes. Interessa explorar os mais proeminentes, tentando perceber em que medida o BIM pode ser a referida mudança de paradigma na indústria AEC.

O método proeminente na concepção de edifícios de carácter público chama-se **Design-Bid-Build** (DBB). Neste, o cliente contrata um arquitecto para desenvolver um projecto e os respectivos documentos finais (satisfazendo um dado programa e regras de construção do local específico). Estes documentos têm de conter detalhe suficiente para permitir que se faça o concurso de empreitada (Eastman et al., 2011, pp. 4-5), visto que durante o processo de concepção do projecto os empreiteiros não têm contacto com o arquitecto. Assim, como o próprio nome sugere, os desenhos do projecto são enviados para um grupo de empreiteiros que licitam competitivamente de modo a serem seleccionados para o trabalho (Krygiel & Nies, 2008, p. 67).

Cada empreiteiro que recebe o conjunto de desenhos e especificações irá usá-los para compilar uma lista de quantidades de forma independente. Estas quantidades (juntamente com as quantidades estimadas por subempreiteiros, se for o caso) são usadas para o cálculo de uma estimativa de custo do projecto (Eastman et al., 2011, p. 5). Então, o proprietário compara os orçamentos e reputação dos empreiteiros para fazer a sua escolha, de modo a incluí-la na equipa para começar a construção. Originalmente este método foi criado para ajudar o proprietário a encontrar o melhor preço possível, reduzindo custos (Krygiel & Nies, 2008, p. 68) devido à possibilidade de tornar as propostas de construção mais competitivas (ao mesmo tempo que evitando pressões políticas para escolher determinado empreiteiro, o que se revela particularmente útil para os projectos de carácter público) (Eastman et al., 2011, p. 4). No entanto, com o tempo e o aumento da complexidade na indústria da construção, por vezes este método acaba por gerar condições adversas entre as equipas de projecto e construção. Por um lado, o empreiteiro não faz parte do processo desde uma etapa

inicial, não partilhando assim as suas opiniões e reduzindo o seu entendimento da proposta; Por outro, uma equipa de projecto que não tenha acesso a um avaliador de custos experiente, poderá ter dificuldades em projectar dentro do orçamento desejado (Krygiel & Nies, 2008, p. 68). Para além disto, dados os esforços necessários a desempenhar as tarefas anteriormente referidas, estima-se que cada empreiteiro geralmente gasta 1% do custo estimado só ao compilar as suas licitações (Eastman et al., 2011, p. 5).

A necessidade de desenhos completos e rigorosos estende-se aos desenhos de pormenor, visto estes serem as representações mais detalhadas e usados para a fabricação. Se estes forem imprecisos ou incompletos, ou se forem baseados em desenhos que já contenham erros, inconsistências ou omissões, então surgirão conflitos caros e demorados com custos associados elevados. Por outro lado, é esta possibilidade de inconsistências ou falta de certeza no desenho que torna difícil fabricar os materiais fora do local de construção. Assim, a maior parte da fabricação tem de ser feita no local e só após as condições adequadas estarem estabelecidas, resultando numa situação de trabalho mais cara, demorada e propensa a erros que não ocorreriam se o trabalho fosse desenvolvido num ambiente de fábrica onde os custos são mais reduzidos e o controlo de qualidade superior (Eastman et al., 2011, pp. 5-6).

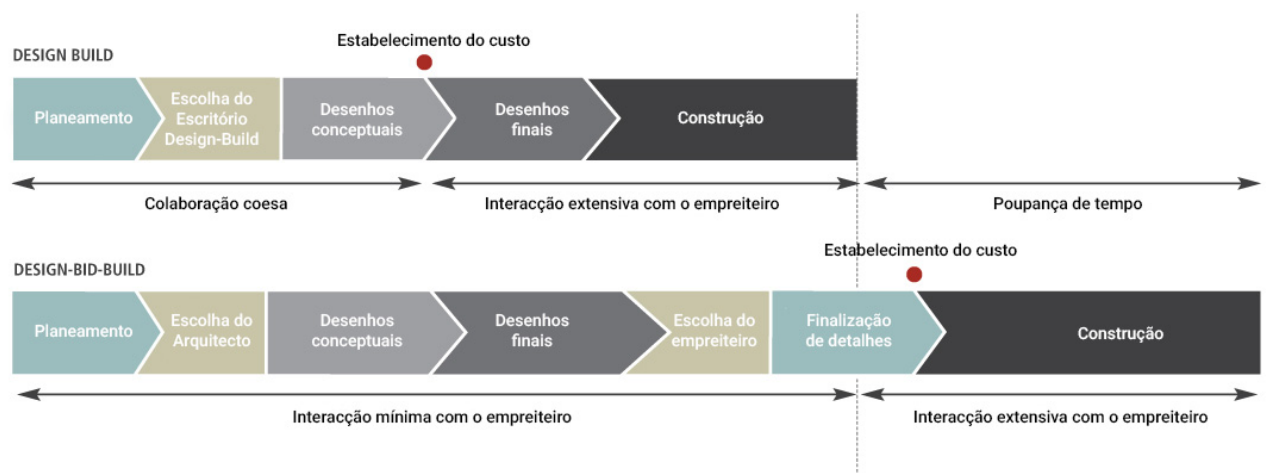
O comissionamento do edifício é a ultima fase neste processo, que ocorre após a construção terminada. Existe a necessidade de testar os sistemas do edifício de modo a garantir que estes funcionam correctamente e conforme as alterações efectuadas na construção, é necessário criar novos desenhos finais que reflectam estas mudanças, concluindo assim o processo DBB. Dado que todos os dados são transferidos em 2D, é usualmente necessário um esforço adicional considerável para transmitir a informação relevante às equipas que vão efectuar a gestão e manutenção do edifício. É um processo demorado, propenso a erros, custoso e que ainda se revela uma barreira significativa. Como resultado, por vezes o método DBB acaba por não se revelar a forma mais expedita ou rentável de abordar o projecto e construção (Eastman et al., 2011, pp. 6-7).

O método **Design-Build** (DB) foi desenvolvido de modo a consolidar a responsabilidade do projecto e construção numa única entidade de modo a simplificar a administração de tarefas por parte do proprietário (Eastman et al., 2011, p. 7). Assim,

ao contrário do método DBB, neste o arquitecto e o empreiteiro são uma só entidade ou estão em parceria sob um só contrato, com o objectivo de criarem uma equipa mais unificada, o que fez com que este método tenha ganho alguma popularidade nos últimos anos (Krygiel & Nies, 2008, p. 71). Este processo permite que modificações no projecto sejam feitas mais cedo, reduzindo assim o tempo e custo necessário para as aplicar. Deixa de ser necessário que todas as partes do edifício estejam detalhadamente desenhadas para se poder começar a construir as fundações e primeiros elementos construtivos, resultando num processo de construção tipicamente mais rápido, com menos complicações legais e um custo ligeiramente menor. Por outro lado, existe pouca flexibilidade para o dono proceder a alterações depois do projecto inicial estar aprovado e o contrato estabelecido (Eastman et al., 2011, pp. 7-8).

Segundo Eastman (2011, p. 10), a metodologia BIM pode ser introduzida nos diferentes métodos referidos, sendo que as suas vantagens dependem da fase em que isto acontece. Krygiel & Nies (2008, p. 73) referem que o método utilizado não é tão importante para o resultado final do projecto como o são a colaboração, compromisso e paixão da equipa pelo projecto. No entanto, é necessário referir que o método DBB representa um maior desafio de integração da metodologia BIM, visto que neste caso o empreiteiro não está presente na fase de desenho e portanto torna-se necessário construir um novo modelo após o projecto estar completo. Por outro lado, o método DB apresenta uma maior facilidade, dado o projecto e construção serem desenvolvidos pela mesma entidade, que colabora desde a fase inicial [Fig. 2.02] (Eastman et al., 2011, pp. 9-10).

Figura 2.02
Esquema comparativo dos métodos DBB e DB



3 Processos integrados e maior cooperação

Tendo em conta as dificuldades que os métodos referidos por vezes apresentam, têm surgido novas maneiras e processos de conceber edifícios. Bergin (2011) refere que o aumento na colaboração tem tido impactos na indústria em geral, criando um movimento de afastamento de contractos DBB em prol de métodos mais integrados onde as diferentes disciplinas trabalham em modelos BIM mutuamente acessíveis e que são actualizados com frequência. Neste sentido, tem surgido um processo chamado **Integrated Project Delivery** (IPD), que embora relativamente recente, tem ganho popularidade à medida que o BIM também se torna popular e adoptado. Eastman (2011, p. 9) diz que este método se distingue pela colaboração efectiva entre proprietário, arquitecto e empreiteiro, desde uma fase muito inicial no projecto e que continua até a sua finalização. O conceito chave é o trabalho de equipa [Fig. 2.03] através das melhores ferramentas colaborativas à sua disposição, garantindo um cumprimento das necessidades estabelecidas a um custo e prazo mais reduzidos. Aspectos que são sempre uma parte do processo de projecto (como o custo, análise energética, funcionalidade, estética e construtibilidade) são melhor avaliados usando BIM, portanto BIM e IPD funcionam juntos e representam uma ruptura clara perante os processos baseados em troca de informação exclusivamente através de meios 2D.

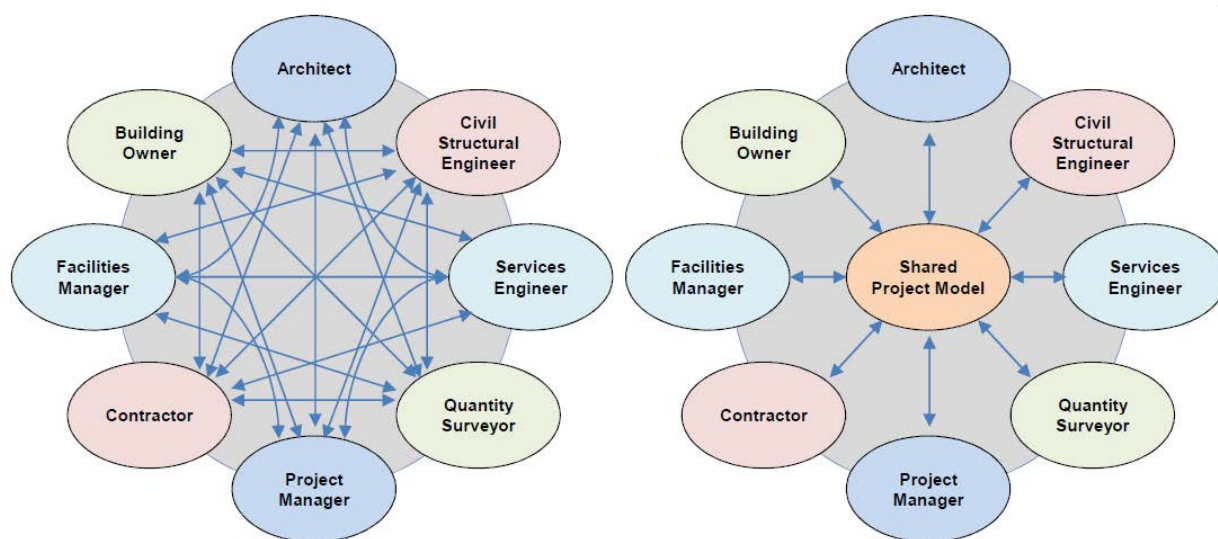
A fragmentação até agora inerente à indústria AEC é apontada como um dos grandes factores negativos da mesma, abrindo assim as portas a processos mais sustentáveis. Eduardo Souto Moura (2015) parece abordar estes mesmos problemas quando refere que os métodos que existem hoje em dia e que são naturais na arquitectura, terão de dar lugar a processos mais integrados e colaborativos. Na sua opinião, em Portugal, a arquitectura como a conhecemos irá mudar. “Os arquitectos vão ter de construir uma nova disciplina” dado que “a arquitectura é dependente das condições do mundo e da cultura e não é uma arte autónoma” visto que “está ligada à economia, à cultura, aos conflitos e às vicissitudes”. Souto Moura acredita que “quando houver um período mais sereno e mais estável do ponto de vista económico” e que proporcione melhores condições de trabalho, irá surgir uma arquitectura diferente daquela a que foi habituado, na qual os arquitectos terão de se socorrer de outras disciplinas “e trabalhar em conjunto”. Na sua opinião “ainda estamos muito

ligados à imagem do arquitecto-artista na sua torre de marfim, e eu penso que isso vai acabar. Vem aí uma nova disciplina."

A procura de processos mais inclusivos e cooperativos tem vindo a ganhar popularidade já há vários anos. Michael Ambrose (2006) considera que o futuro da produção arquitectónica irá sendo alcançado à medida que a profissão passar das práticas tradicionais e do seu modelo centrado exclusivamente no desenho para um processo dinâmico, orientado a práticas digitais e a subsequente redefinição dos serviços profissionais e entregas contratuais. Na sua opinião, a convergência destas tecnologias aponta para uma nova base conceptual para o pensamento e produção arquitectónicos, que se foque na relação fluída entre desenho, construção e manutenção, na qual a informação é o meio.

Thomas Lane (2011) acredita que "o uso obrigatório do BIM em todos os projectos do sector público podiam ajudar a indústria a salvar-se de si mesma", visto que o uso de informação de forma colaborativa já mostrou ser capaz de produzir poupanças na ordem dos 10%. Na sua opinião, estas poupanças podem ser a diferença entre sobreviver ou não no difícil ambiente de hoje em dia. Por sua vez, Lachmi Khemlani (2015) refere que o BIM já estabeleceu firmemente que é a tecnologia a apostar na indústria da construção. Na sua opinião, apesar de ainda haver escritórios de arquitectura e construção que ainda não começaram a implementar esta metodologia nas suas práticas, não existe dúvida de que o BIM é o futuro da indústria AEC e estes, mais cedo ou mais tarde, terão de "dar o salto".

Figura 2.03
Diagrama comparativo
entre um processo
tradicional e um processo
integrado



55
Fig. 3

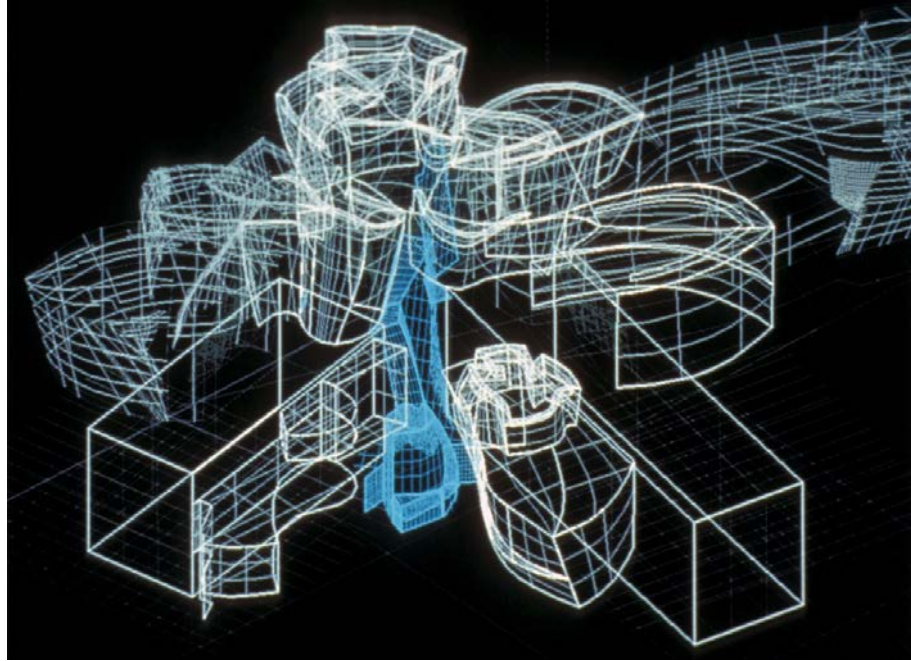
BIM enquanto ferramenta no projecto de
arquitectura

1 Arquitectura na Era da Informação

Segundo Hermund (2009), à medida que as ferramentas usadas no exercício da arquitectura evoluíram, também a forma como esta é pensada e desenhada evoluiu. Por exemplo, a descoberta da perspectiva no Renascimento teve grandes impactos na construção e visualização de edifícios na altura; da mesma forma, a ideia de produção em série da Industrialização ou a sistematização da mentalidade Modernista também moldaram a arquitectura a que estas épocas deram origem. Kolarevic (2003, p. 2) diz que o Palácio de Cristal, desenhado por Joseph Paxton para a Grande Exposição de 1851, foi um edifício arrojado para o seu tempo, incorporando o espírito tecnológico da Industrialização e anunciando o futuro dos edifícios de metal e vidro. Por sua vez, a Torre Eiffel, construída para a Exposição Mundial de 1889, demonstrou a altura que estes novos edifícios poderiam alcançar, tendo sido necessários um século para os edifícios de metal e vidro se tornarem omnipresentes em todo o mundo.

Da mesma forma que a Industrialização moldou os edifícios da época, Hermund (2009) acredita que também a Era da Informação em que vivemos irá moldar a forma como pensamos e projectamos arquitectura. Ambrose (2009) considera que serão desenvolvidas novas convenções baseadas, não na abstracção do passado, mas antes nos sistemas emergentes de simulação e gestão de informação. Assim como as convenções de comunicação e representação tradicionais foram factores determinantes na arquitectura que ajudaram a produzir, novas convenções irão dar origem a novas formas de fazer arquitectura. Esta ideia é suportada por Kolarevic (2003, p. vi) que há mais de uma década escreveu que “a era digital está a forjar um tipo de arquitectura bastante diferente e ao mesmo tempo criar oportunidades sem precedentes para uma redefinição significativa do papel dos arquitectos na produção de edifícios.” Na sua opinião (Kolarevic, 2003, p. 2), os primeiros “Palácios de Cristal” e “Torres Eiffel” da nova Era da Informação tinham acabado de ser feitos no final do milénio. O Museu Guggenheim em Bilbao [Fig. 3.01], de Frank Gehry, é apontado como o exemplo provavelmente mais conhecido que captura o espírito da revolução da informação digital. Modelado com o *Computer Aided Three-dimensional Interactive Application* (CATIA), um *software* desenvolvido para a indústria aeroespacial francesa, as consequências que o museu terá para a indústria da construção serão, segundo Kolarevic (2003, p. 2), “provavelmente numa

Figura 3.01
Modelo do Guggenheim
Bilbao desenvolvido em
CATIA



escala semelhante às da revolução industrial: a Era da Informação, assim como a Industrialização, constitui um desafio não só na forma como projectamos edifícios, mas também como os fabricámos e construímos”

Krygiel e Nies (2008, p. 29) consideram que no último século a indústria AEC mudou drasticamente. Os edifícios tornaram-se muito mais complexos, com muitos mais sistemas integrados e interrelacionados. Durante este período, foram adicionados um conjunto de sistemas e camadas de desenho que ou não existiam nos mesmos contornos actuais ou não existiam de todo. Por exemplo, se considerarmos um edifício de escritórios contemporâneo, nos últimos 100 anos, foram-lhe adicionados sistemas de informação e telecomunicação, ar-condicionado, segurança, sustentabilidade, estacionamento subterrâneo, entre outros. Com a adição de complexidade, as pessoas nesta indústria tiveram de se adaptar a estas mudanças. Ao arquitecto é requerida mais documentação, com mais detalhes adicionados aos conjuntos de desenhos. No entanto, segundo Kolarevic (2003, p. vi), com as tecnologias digitais, tem vindo a ser possível criar uma correlação directa entre aquilo que se pode desenhar ou modelar e aquilo que se pode construir, trazendo para primeiro plano a questão da informação, ou seja, as questões de produção, comunicação, aplicação e controlo da informação na indústria AEC. Ao integrar o desenho, análise, manufactura e montagem dos edifícios em torno de tecnologias digitais, os arquitectos, engenheiros e empreiteiros têm uma oportunidade de

redefinir fundamentalmente a relação entre concepção e produção. Na sua opinião, os domínios actualmente separados da arquitectura, engenharia e construção podem ser integrados numa colaboração digital relativamente homogénea, na qual os arquitectos possam desempenhar um papel central como “*mestres de informação*”.

2 BIM como metodologia de apoio ao arquitecto

Por vezes existe uma noção errada na indústria AEC de que o BIM é apenas um *software*. Embora o *software* seja um componente necessário, é importante perceber que o BIM implica mais do que mudar as aplicações usadas num escritório de arquitectura (Hermund, 2009). O termo BIM deve cada vez mais ser usado para descrever uma actividade em vez de um objecto, ou seja, o acto de modelar em vez do modelo em si. Esta reflecte a ideia de que o BIM não é uma coisa mas antes uma actividade humana que representa mudanças nas formas como se projecta, constrói e gere um edifício (Eastman et al., 2011, p. xi).

Segundo Hermund (2009), esta metodologia é focada no processo de modelar (ou talvez gerir) melhor a informação, requer uma nova mentalidade e possivelmente até novas funções e descrições de empregos. Mais importante, Eastman (2011, p. xi) diz que o BIM é uma oportunidade significativa para a sociedade em geral: conseguir um processo de construção mais sustentável, que obtenha melhor performance com menos recursos, reduzindo assim o risco associado aos processos tradicionais.

Os conceitos “BIG BIM” e “little bim”, originalmente estabelecidos por Jernigan (2008, p. 27), procuram demonstrar a distinção entre uma metodologia de gestão de informação com relações complexas entre recursos técnicos e sociais (“BIG BIM”) e as diferentes variantes de *software* que a suportam, como por exemplo o ArchiCAD e o Revit (“little bim”). Hermund (2009) considera que sem o “BIG BIM”, o “little bim” não é muito poderoso. O *software* deve ser entendido como uma ferramenta colaborativa, uma espécie de assistente que faça uso do conhecimento e experiência dos arquitectos, engenheiros e construtores, ajudando-os a tomar decisões mais informadas e que potenciem assim uma melhor qualidade do resultado final.

Segundo Pontes e Menezes (2012), o desenho em arquitectura pode ser dividido em três fases: a primeira, ligada ao desenho livre, enquanto instrumento de

criação artística e procura conceptual; a segunda, ligada à geometria e sistemas de projecção; e a terceira, ligada à representação arquitectónica. Quando se fala nos meios digitais e no BIM como metodologia para tentar resolver as ineficiências de métodos exclusivamente 2D, é especificamente esta terceira etapa que se procura levar ao próximo nível. Quero com isto dizer que o BIM não procura substituir a busca artística e conceptual associada às etapas iniciais de um projecto (embora possa facultar-lhe informação útil na tomada de decisões) nem a criatividade e experiência dos profissionais da indústria AEC, pois isolado o “BIG BIM” também não irá produzir trabalho de qualidade. Como Jernigan (2008, p. 23) refere, esta forma de trabalhar não requer que o arquitecto deite fora as suas ferramentas e experiências, mas antes que separe aquilo que deve ser mantido e aquilo que deve ser substituído.

Para além destas questões profissionais, Pontes e Menezes (2012) consideram ainda que o BIM pode também introduzir uma condição nova no ensino de arquitectura no sentido em que transfere o processo de concepção de uma vertente geométrica para uma modelação de elementos construtivos. Assim, na sua opinião este aspecto abre novas possibilidades não só na aprendizagem das questões arquitectónicas mas também construtivas. Ambrose (2009) partilha desta opinião, considerando que a possibilidade de “começar com *construção* em vez de terminar em *construção*” poderá mudar fundamentalmente a pedagogia do desenho e abrir novas possibilidades para estudantes.

3 Visão geral de como funciona o BIM

As projecções ortogonais bidimensionais que hoje constituem a tradição e convenção da comunicação visual tiveram origem no século XV. Segundo Ambrose (2006), descobriu-se que a geometria e as projecções geométricas eram extremamente úteis para representar intenções arquitectónicas, mesmo tendo em conta a inerente abstracção que é retratar forma e espaço tridimensional em duas dimensões. Assim, na medida em que a arquitectura e as suas representações gráficas são entendidas do ponto de vista comunicacional como uma espécie de linguagem, esta pode ser vista como um sistema abstracto. Na sua essência, os arquitectos constroem representações abstractas de ideias, e estas ideias constituem edifícios. As representações abstractas são apenas um meio de comunicar intenções, ideias e significado dos seus projectos.

Apesar das ideias BIM já existirem há bastante tempo, a sua implementação a um nível mais alargado é relativamente recente e representa uma mudança no processo de desenho e documentação da indústria AEC. Por sua vez, os sistemas CAD já existentes são capazes de produzir ficheiros digitais que consistem maioritariamente em vectores. Segundo Eastman (2011, p. 15), à medida que estes sistemas foram sendo desenvolvidos, foi-lhes adicionada informação extra de modo a permitir associar-lhes blocos de informação e texto. No entanto, com a introdução da modelação 3D, houve a necessidade de introduzir definições avançadas e ferramentas complexas para trabalhar superfícies. À medida que estes sistemas se tornaram mais inteligentes e mais utilizadores começaram a partilhar dados associados com um determinado projecto, o foco passou dos desenhos e das imagens 3D para a própria informação. Esta evolução parece ter sido prevista muitos anos antes, quando Eastman e Henrion (1977) desenvolviam o seu trabalho para o GLIDE, referindo que “a informação de forma, normalmente representada em desenhos, pode ser integrada com informação funcional de performance de modo que aplicações possam aceder e manipular ambas”.

Hubers (2010) define *software* paramétrico como um software “no qual os objectos e os seus atributos permanecem variáveis”, ou seja, em vez de “apagar e redesenhar o desenho ou suas partes, o utilizador pode simplesmente ajustar os parâmetros e o desenho irá adaptar-se automaticamente.” Eastman (2011, p. 37) diz que este foi um passo importante na evolução de CAD para modelação paramétrica, ou seja, o reconhecimento de que formas múltiplas podiam partilhar parâmetros. Por exemplo, os limites de uma parede são definidos pelos planos do chão, paredes e tecto que a limitam. Assim, a forma como objectos estão ligados determina parcialmente a sua própria forma: se uma parede é movida, todos os elementos que lhe estão ligados são também actualizados. Esta forma de modelar não está exclusivamente relacionada com os objectos específicos: é possível desenhar uma grelha para definir uma estrutura, usando os seus pontos de intersecção como parâmetro de colocação e orientação de objectos (por exemplo pilares) que irão actualizar-se conforme as alterações que a grelha sofrer. Desta forma o BIM ganhou o potencial de alterar significativamente a concepção e produção de desenhos arquitectónicos e a sua representação pela primeira vez desde o século XV. Na opinião de Ambrose (2006), esta metodologia ofusca o papel da composição, escala e abstracção, substituindo a

primazia de representação abstracta com uma representação literal (virtual), clarificando as relações holísticas da forma e espaço no projecto arquitectónico. O modelo virtual é a “coisa” e ao mesmo tempo a representação “da coisa”. Não existe abstracção. O edifício está literalmente (virtualmente) construído, o espaço é espaço e as formas são formas. “As plantas, cortes e alçados, convenções tradicionais de representação, são uma ilusão”

Jernigan (2008) considera que o BIM não é uma questão de *software* mas antes uma questão de como pensar o uso da tecnologia. Neste sentido, Krygiel e Nies (2008, p. 27) definem esta metodologia como a criação e uso de informação coordenada, consistente e computável do desenho de um edifício – informação paramétrica usada para a tomada de decisões, produção de documentos construtivos de alta qualidade, previsão da performance do edifício, estimativa de custos e planeamento da sua construção.

Como o próprio nome indica, o BIM tem a ver com a informação dos componentes que constituem todo o edifício e o conjunto completo de documentos a que a sua base de dados corresponde. Hermund (2009) diz que “o BIM é como um sistema de produção: sem matéria-prima, não se obtém resultados. Neste caso, a matéria-prima do BIM é a informação”.

Dado que a informação inerente a estes componentes é paramétrica e está portanto interligada, qualquer mudança feita num objecto dentro do modelo irá instantaneamente reflectir-se no projecto, em todas as suas vistas (Krygiel & Nies, 2008, p. 26). Ao possibilitar que um edifício seja representado por estes objectos inteligentes, isto é, que contêm informação detalhada sobre eles próprios e que percebem a sua relação com a sua envolvente no modelo (Eastman et al., 2011, p. vii), um projecto desenvolvido através da metodologia BIM deixa de conter as meras representações bidimensionais das opções tomadas, e passa a ter os elementos modelados que são construções e montagens efectivas (Krygiel & Nies, 2008, p. 26). Neste sentido, o modelo tridimensional pode ser utilizado em toda a sua capacidade durante o processo de concepção e construção do edifício. Por exemplo, dado que os elementos estão parametricamente relacionados, ao mover uma parede em planta, esta mudança será automaticamente reflectida nos alçados, cortes e outras vistas, aumentando assim a velocidade do processo. Visto que através desta metodologia se

está a criar um modelo tridimensional, os desenhos tradicionais deixam de ser um conjunto de linhas manualmente coordenadas e passam a ser representações interactivas e automaticamente geradas do modelo (Krygiel & Nies, 2008, p. 27) Assim, Ambrose (2009) diz que o BIM representa um processo de desenho que não dá prioridade às convenções comunicacionais abstractas ou fragmentadas mas antes privilegia a “construção contextual de um sistema de simulação formal/espacial *inteligente*”.

Eastman (2011, p. vii) considera que o BIM não só vem alterar a forma como os desenhos são criados mas também os próprios processos inerentes à concepção de um edifício: a forma como as necessidades programáticas do cliente são usadas para desenvolver conceitos prévios; como desenhos alternativos são analisados tendo em conta aspectos como a performance energética, estruturação, configuração espacial, custo, construtibilidade, etc; como equipas diferentes colaboram no projecto, como este é construído, incluindo a fabricação dos diferentes componentes; e como, após a construção, o edifício é operado e mantido. O impacto que o BIM tem em cada um destes processos parte de conferir-lhes uma maior eficiência. Para além disto, tem ainda a capacidade de melhorar processos já existentes, atribuindo-lhes novas capacidades como por exemplo a verificação de conflitos em modelos multidisciplinares antes da construção, a verificação automática de um modelo para o cumprimento de condutas municipais, permitir uma distribuição de trabalho de equipa em tempo real ou até mesmo construir directamente a partir do modelo (Eastman et al., 2011, pp. vii-viii).

À medida que o processo e a ciência do desenho e construção de um edifício se tornou cada vez mais complexo, menor é a possibilidade de arquitectos trabalharem sem a ajuda de especialistas. Segundo Nuno Lacerda (2013), para fazer “uma simples casa em Portugal, precisamos de 22 especialidades” e no decorrer deste processo, muitas vezes “a informação perdia-se”. Neste sentido, Krygiel e Nies (2008, p. 53) referem que a tendência para uma cada vez maior concentração de determinadas especializações tem levado a um crescente movimento para combinar o proprietário, arquitecto e empreiteiros numa equipa integrada. Este processo é baseado na capacidade de partilhar conhecimento através de várias disciplinas e do compromisso em equipa [Fig. 3.02]. Segundo Krygiel e Nies (2008, p. 61), na metodologia BIM o

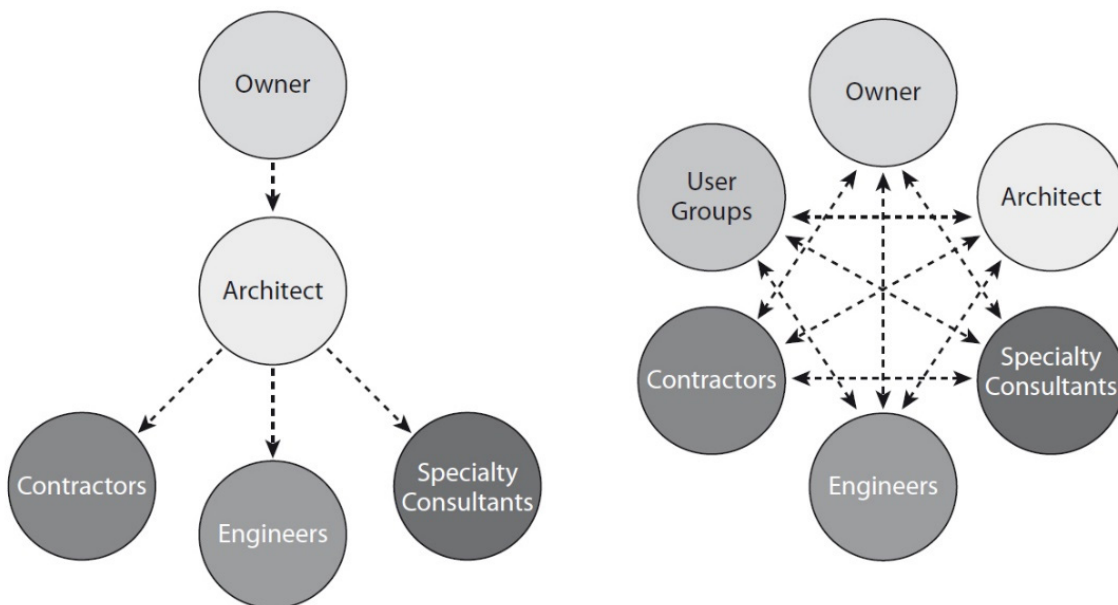
diálogo deve ser entendido como uma ferramenta: “Dada a oportunidade de conversar com outra pessoa sobre um problema de projecto, somos capazes de desenvolver um conhecimento mais profundo do que se o fizéssemos sozinhos.”

4 BIM na etapa conceptual do projecto

Segundo Ijeh (2015), os termos “BIM” e “desenho paramétrico” estão carregados com todos os tipos de preconceitos teóricos. Dado que o BIM é associado a informação, segurança e precisão, para muita gente ainda é meramente sinónimo das últimas etapas da concepção de um edifício, ou seja, um modelo final que revele todos os aspectos do projecto. No entanto, como afirma Reddy (2012, p. 1), “o BIM é uma metodologia de melhoramento de processos que utiliza informação para analisar e prever resultados durante as diferentes fases de vida do edifício”, procurando melhor coordenar as diferentes equipas de trabalho e minimizar as dúvidas que possam surgir. Jernigan (2008, p. 25) considera que a metodologia BIM cria inovação a longo prazo, melhorando a forma como projectos são projectados e construídos. Assim sendo, não faz sentido entender o BIM como uma ferramenta de utilidade exclusiva nas etapas finais do projecto, ignorando a maior parte das suas potencialidades.

Descobrir que determinado projecto excede significativamente o orçamento após uma quantidade considerável de tempo e esforço ter sido investida na concepção das suas ideias e características é um grande desperdício (Eastman et al., 2011, pp. 20-

Figura 3.02
Modelo de equipa tradicional e
modelo de equipa integrada



21). As primeiras etapas da concepção de um edifício são particularmente propícias a este factor de desconhecimento, visto que múltiplos conceitos ainda estão em consideração e as limitações e potencialidades inerentes a cada um deles ainda não são totalmente conhecidas (nem o vão ser num futuro imediato, pois requerem um investimento considerável de tempo e ponderação). É neste sentido que a metodologia BIM não deve ser descartada das etapas conceptuais de um projecto, especialmente porque tratando-se de um problema conhecido, segundo Ijeh (2015), a crescente oferta de *software* para modelação conceptual tem tornado esta metodologia cada vez mais poderosa na exploração das fases iniciais de um projecto. Jernigan (2008, p. 23) considera que o problema de muitos arquitectos é exactamente este, terem de tomar demasiadas decisões no momento errado, quando ainda têm pouca informação disponível na qual se basear. Segundo Eastman (2011, pp. 20-21), de modo a evitar este tipo de situações, com a metodologia BIM é possível criar um modelo aproximado (ligado a uma base de dados com valores de custo), determinando assim, com um relativo grau de certeza, se um edifício de determinado tamanho, qualidade e programa pode ou não ser construído dentro de um dado período de tempo e orçamento.

O desenho paramétrico também atrai preconceito e presunção, visto que muitas vezes é associado exclusivamente a noções de formas e estruturas altamente complexas e geometricamente improváveis, realizadas por arquitectos como Frank Gehry e Zaha Hadid. No entanto, Ijeh (2015) pergunta o que aconteceria “se o desenho paramétrico fosse usado para modelar formas simples? E se a flexibilidade e lógica algorítmica do BIM pudesse ser aplicada à fase inicial explorativa e conceptual de um projecto?”

Tradicionalmente, os arquitectos fazem este exercício recorrendo exclusivamente a modelos físicos. Este método permite uma fácil manipulação do modelo na procura do progresso estético e conceptual, no entanto, extrair informação de performance destes elementos é extremamente difícil. Por outro lado, Eastman (2011, p. 21) diz que usar o BIM para desenvolver um modelo esquemático antes de um modelo detalhado permite efectuar uma avaliação mais cuidadosa da proposta de modo a determinar se ela cumpre os requisitos funcionais e sustentáveis do edifício. Tendo em conta a ideia de Lawson (2006, p. 40) segundo a qual “a criação é o resultado entre a análise e

síntese”, Hubers (2010) diz que os dois processos colaborativos mais relevantes no desenho arquitectónico são o “desenvolvimento iterativo” e a “avaliação de alternativas”. Esta avaliação prévia, recorrendo a análises e simulações, permite assim melhorar a qualidade geral do edifício visto que (Ijeh, 2015) oferece uma enorme variedade de informação qualitativa (como por exemplo a dispersão da luz solar). Por sua vez, este método não é capaz de oferecer a mesma variedade de exploração formal como um modelo físico e portanto conseguir um processo que combine as vantagens destas duas abordagens é difícil [Fig. 3.03].

É este desafio que diversas ferramentas têm vindo a procurar dar resposta. Tendo como base o trabalho realizado em colaboração com vários arquitectos, a *Ramboll Computational Design* e *Ramboll Facades* procuraram desenvolver uma ferramenta de modelação para a fase inicial da concepção do projecto que controle as capacidades do desenho paramétrico e ao mesmo tempo seja capaz de submeter os modelos conceptuais a análises de performance altamente inteligentes, aumentando as opções do arquitecto e promovendo o desenvolvimento do projecto. John Harding (Ijeh, 2015), director de desenho computacional na Ramboll, diz que esta técnica “permite que uma equipa analise colaborativamente modelos conceptuais” mas também os torne “infinitamente flexíveis, de modo a assistir o desenho e desenvolvimento do projecto ao mesmo tempo que providencia informação analítica. Assim, é uma ferramenta que combina os aspectos quantitativos do BIM com os aspectos (...) humanos do desenho.”

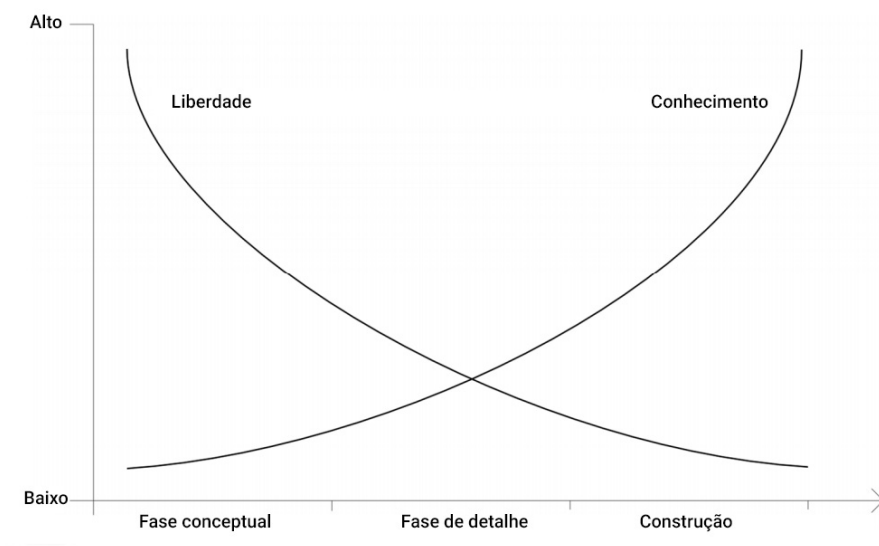
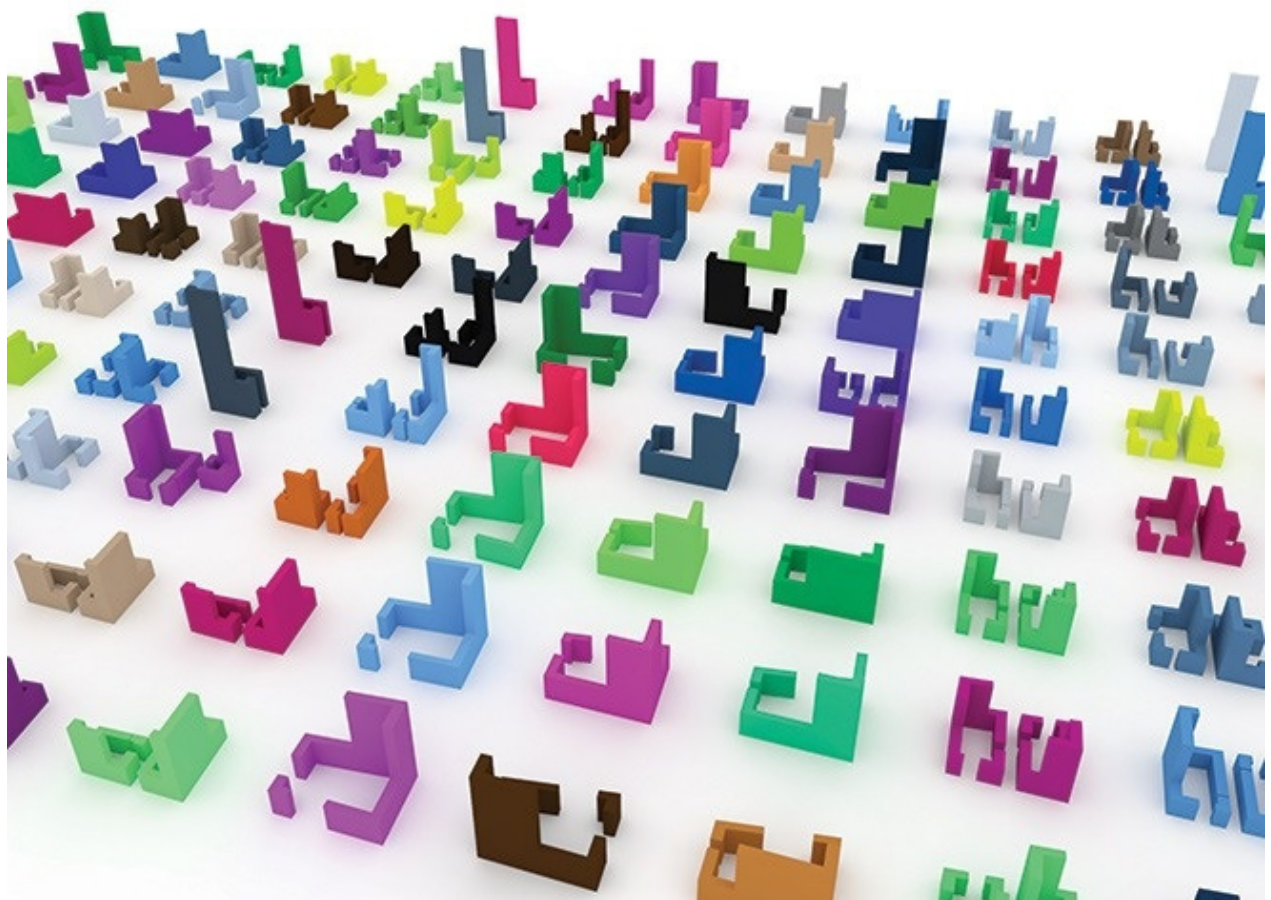


Figura 3.03
Gráfico da liberdade e conhecimento de um projecto durante as diferentes etapas

O tipo de informação de performance que estas ferramentas são capazes de extrair de modelos conceptuais é enorme, variando desde condições ambientais (ganhos solares, sombra, caminhos de vento, dispersão de calor) a económicas (área total, custo de material, até a área orientada para as melhores vistas). A análise pode ser desenvolvida em tempo real, ajudando a equipa a perceber as implicações das variações formais em consideração. Harding (Ijeh, 2015) defende que este tipo de ferramentas não procuram de forma alguma substituir o papel do arquitecto, mas antes fortalecê-lo. Na sua opinião, funcionam de maneira semelhante à teoria Nudge, um conceito da ciência comportamental, teoria política e economia segundo a qual indivíduos ou grupos tomam melhores decisões se influenciados por informações sugestivas em vez de instrução directa. Como referem Hayles e Holdsworth (2008), perceber o problema é uma parte fundamental de construir uma solução e não “prescrever” soluções é uma parte fundamental de encorajar criatividade.

Harding (Ijeh, 2015) aborda uma possível contraprodução de ser apresentado com um leque demasiado diverso de hipóteses nas primeiras etapas de um projecto, quando certas restrições ou limitações podem ainda não ser aparentes,

Figura 3.04
Opções formais para o
projecto residencial East
India Dock



referindo que esta questão pode ser endereçada através de uma capacidade personalizada de ponderação, ou seja, a atribuição de vários graus de importância a diferentes factores. Na sua opinião, dado que “diferentes elementos são valorizados de forma distinta por pessoas diferentes, é uma forma de introduzir o elemento humano na equação”.

O escritório de arquitectura 3DReid decidiu testar esta ferramenta (bem como os métodos tradicionais a que estavam habituados) no projecto residencial East India Dock, em Londres [Fig. 3.04], de modo a estabelecer uma comparação. Charlie Whitaker, líder da equipa responsável pelo conceito refere que “com a abordagem tradicional é preciso confiar na intuição e regras gerais que limitam o número de opções possíveis de explorar” enquanto este tipo de ferramentas oferecem um maior número de alternativas.“ Descobrimos que os métodos tradicionais não era maus, mas algumas das opções paramétricas geradas por modelação computacional tiveram melhor desempenho. (...) Podíamos ver que tipo de opções tinham melhor performance [Fig. 3.05] e ajustar as suas dimensões e espaços entre blocos em conformidade” (Ijeh, 2015).

A metodologia BIM é inerentemente propícia ao surgimento destas ferramentas externas (“little bim”) que, independentemente da sua dimensão,

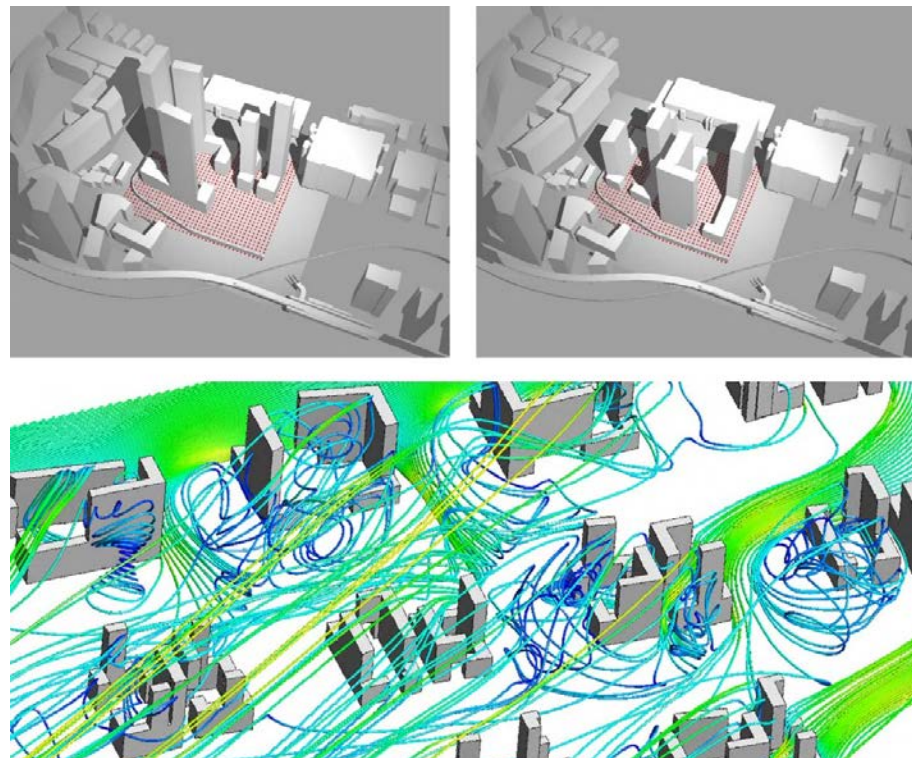


Figura 3.05
Exemplos de análises da
luz solar e vento

procuram facilitar determinados aspectos do processo de concepção de um edifício. No Brasil, onde o *software* BIM começa a ser lentamente adoptado, os grandes distribuidores já dão uso ao *e-commerce*, providenciando uma oferta crescente de dados sobre os seus produtos. Estes dados são uteis aos arquitectos no sentido em que ajudam a criar uma perspectiva completa dos produtos que o mercado tem. Araújo e Andrés (2011) acreditam que, com um processo de modelação computadorizado e fácil de executar, o uso de *software* BIM nas etapas preliminares do projecto será favorecido. É neste sentido que procuraram desenvolver uma ferramenta chamada BIM.BON [Fig. 3.06] que, mais do que oferecer o preço final de uma decisão, ofereça parâmetros que assistam o arquitectos sobre as suas hipóteses de escolha em termos de forma, materiais e soluções construtivas.

Na opinião de Ijeh (2015), projectar tem a ver com consequências. O objectivo deste tipo de ferramentas é o de incorporar a espontaneidade e intervenção humana, central para o processo de projecto, e não o de o suprimir. Harding diz que não se trata de tentar criar uma ferramenta final, que se trata mais de uma metodologia em constante mudança. “Pode ser baseado em princípios de desenho paramétrico, mas não é limitado por eles; o modelo pode ser desenvolvido apenas por questões que o arquitecto conhece ou quer” (Ijeh, 2015).

Figura 3.06
BIM.BON, exemplo de uma ferramenta externa que procura enriquecer a metodologia BIM



5 BIM no desenvolvimento do projecto

As vantagens de usar a metodologia BIM quando as primeiras questões conceptuais já estão mais esclarecidas tornam-se mais óbvias e directas à medida que o processo de desenho avança. Dado que o modelo tridimensional gerado pela aplicação BIM é projectado directamente (em vez de ser gerado de forma manual através de múltiplas visualizações 2D), este pode ser visualizado quase instantaneamente, em qualquer fase do projecto, com a garantia de que as suas dimensões estão correctas e actualizadas em qualquer ponto de vista (Eastman et al., 2011, p. 21). Esta ferramenta não só ajuda a visualizar o espaço do projecto como pode também servir para apresentar ideias a membros da equipa, clientes, empreiteiros ou mesmo entidades reguladoras. Não só é um benefício na comunicação, pode também ser um elemento chave na tomadas de opções (como por exemplo a importância de elementos que garantam protecção solar [Fig. 3.07]) (Krygiel & Nies, 2008, pp. 38-39), fornecendo assim uma representação mais precisa e imediata do que os métodos tradicionais são capazes.

Sendo o trabalho do arquitecto um processo de refinamento constante, faz todo o sentido que a metodologia BIM mimetize esta forma de trabalhar. Neste sentido, Krygiel e Nies (2008, p. 34) consideram que “o BIM é uma metodologia de contínuo melhoramento, não uma de mudança drástica” na qual “o sucesso ocorre por evolução, não por revolução”. Assim, a mudança e a introdução de alternativas revelam-se componentes cruciais desta abordagem. Quanto mais expedito for o acto de proceder a alterações, mais fluído se tornará o processo. Ao contrário dos métodos tradicionais nos quais uma alteração no projecto implica que os desenhos realizados se tornem obsoletos, segundo Eastman (2011, pp. 21-22), aplicando a metodologia BIM, dado que qualquer alteração é automaticamente actualizada, isto reduz significativamente o tempo e número de erros associados com gerar desenhos construtivos. A razão é a de quando são necessárias mudanças, desenhos rigorosos e

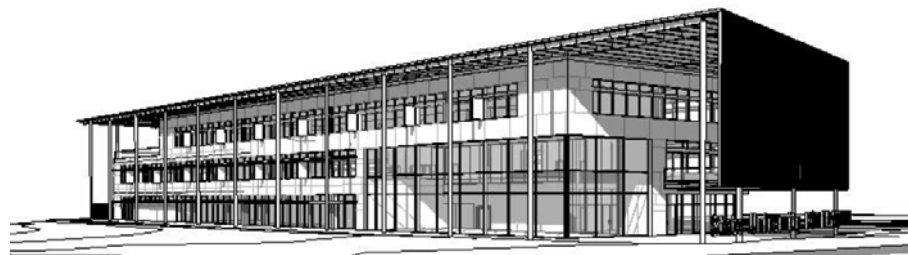


Figura 3.07
Exemplo de visualização de um
modelo para tomada de opções

consistentes podem ser automaticamente extraídos para qualquer conjunto de objectos ou vistas, tão cedo quanto as modificações estejam efectuadas.

Eastman (2011, p. 21) refere também que quando os objectos usados no projecto obedecem a regras paramétricas que garantam os seus alinhamentos e relações entre elementos correctamente, então o modelo 3D estará livre de erros geométricos, de alinhamento e coordenação espacial, reduzindo assim a necessidade de gerir as mudanças que nele são efectuadas. Neste sentido, Ambrose (2006) considera que “o BIM transfere o foco do desenvolvimento de representações (desenhos) para o desenvolvimento formal e espacial (ideias) através do recurso ao modelo tridimensional” É por este motivo que Kimon Onuma (2008) diz que o BIM proporciona ao arquitecto mais tempo para fazer as coisas de que gosta (a arquitectura propriamente dita), automatizando as tarefas mundanas (a gestão de mudanças, actualização de desenhos, etc).

Outra questão que a metodologia BIM procura dar resposta, particularmente nesta etapa da concepção do projecto, é a aparente falta de coesão da indústria AEC. Ambrose (2006) considera que a abstracção e representação têm significado a fragmentação e isolamento das partes (elementos) do seu todo (projecto). Este problema não é recente, tendo Alvar Aalto dito que “nada é tão perigoso em arquitectura como lidar com problemas separadamente. Se dividirmos a vida em problemas separados, dividimos as possibilidades de fazer boa arte de edifícios” (Krygiel & Nies, 2008, p. xvii). Com esta metodologia, não só se torna possível desenvolver um projecto em equipa de forma mais eficiente (na qual todos trabalham em partes diferentes de um todo comum) como também é possível antecipar a colaboração das múltiplas disciplinas necessárias para a construção de um edifício. Ambrose (2006) refere que a metodologia BIM é um processo de desenho anti-fragmentação e anti-isolamento, dependente do contexto relacional dos elementos e informação no modelo de modo a fundamentalmente conceber a relação do todo através das partes.

Eastman (2011, p. 17) considera que o BIM promove um avanço na indústria em direcção a um fluxo de trabalho “integrado e interoperável” no qual as tarefas são transformadas em processos coordenados e colaborativos que procuram maximizar as capacidades computacionais, de comunicação e agregação de informação em

conhecimento. Isto com vista a simular e manipular modelos baseados na realidade e gerir o ambiente construído com decisões suportadas por factos verificáveis, reduzindo assim os riscos e melhorando a qualidade das acções e produtos da indústria como todo.

A arquitectura, com toda a sua complexidade, é apenas uma parte de um processo maior e cujo trabalho só se torna completo com o auxílio destas outras disciplinas. Segundo Jernigan (2008, p. 23), a tecnologia e a exigência dos proprietários por projectos melhores, mais rápidos e menos dispendiosos está a fazer com que a indústria mude a sua forma de trabalhar para aquilo que é chamado de “prática integrada”. Eastman (2011, p. 22) defende que a metodologia BIM possibilita esta prática ao permitir o trabalho simultâneo de múltiplas entidades. Enquanto a colaboração através de processos exclusivamente bidimensionais é também possível, ela é inerentemente mais difícil e demorada do que trabalhar com um modelo tridimensional e coordenado. Segundo Krygiel e Nies (2008, p. 38), neste todos os desenhos são inseridos na base de dados integrada, tornando o controlo de mudanças e a coordenação de documentação relativamente automática. Dado que o BIM funciona como uma estrutura de informação, quando novas vistas são adicionadas a um conjunto de desenhos, as referências são instantaneamente coordenadas. À medida que os edifícios se tornam cada vez mais complexos, o número de desenhos num conjunto de documentos construtivos cresce cada vez mais, podendo requerer hoje em dia quatro vezes mais do que antigamente. Ser capaz de automaticamente coordenar toda esta informação não só não é uma proeza pequena como é demorado fazê-lo manualmente. Assim, segundo Eastman (2011, p. 22), é possível diminuir o tempo de projecto e reduzir significativamente erros e omissões dos desenhos.

Dadas as possibilidades colaborativas [Fig. 3.08] que a metodologia BIM acabou por introduzir na indústria AEC e em particular na arquitectura, pode dizer-se que o BIM antecipa a identificação de problemas na fase de desenvolvimento do projecto, conferindo-lhe a possibilidade de os resolver através de um contínuo melhoramento (Eastman et al., 2011, p. 22). Esta prática acaba por se revelar muito mais económica do que esperar que o desenho de um projecto esteja praticamente completo e com as decisões mais relevantes já tomadas para só então lhe aplicar as análises de performance e construtibilidade das outras disciplinas. Segundo Jernigan

(2008, p. 25), o governo federal americano previu poupanças anuais superiores a 15,8 mil milhões de dólares na utilização de processos integrados, adicionando que o uso adequado do BIM representava poupanças na ordem dos 5 a 12% do orçamento dos projectos.

Este método integrado (IPD) acaba por ir de encontro a estas ideias de colaboração e integração no processo de concepção arquitectónica, visto que se apoia nelas desde a primeira fase de desenvolvimento. Segundo Eastman (2011, p. 21), a sua adopção permite não só melhorar a compreensão das necessidades do projecto como extrair estimativas de custo à medida que este vai sendo desenvolvido. Com isto é possível ter uma melhor noção do verdadeiro custo das opções tomadas e evitar os atrasos e desvantagens associadas à troca de informação por meios exclusivamente 2D. Abdelmohsen (2011) refere que a análise de custo para projectos arquitectónicos é um processo complexo, até aqui desempenhado intuitivamente por avaliadores com base na sua própria experiência e dados históricos. Tradicionalmente, o processo de gerar estimativas dependia dos desenhos 2D dos arquitectos e em listas de quantidades elaboradas manualmente a partir dos mesmos. Esta forma de trabalhar revelou-se exaustivamente demorada, propensa a erros e imprecisa. Na prática, isto significa que não existe um processo de feedback suficientemente imediato para ajudar o arquitecto na tomada de decisões, visto estas estimativas serem desenvolvidas de forma

Figura 3.08
Exemplo de colaboração
multidisciplinar num
modelo BIM



praticamente isolada, perto do fim do processo de concepção do edifício, não dando resposta às mudanças frequentes no projecto nem considerando a multiplicidade de alternativas.

Dado que a metodologia BIM implica que a modelação de elementos de um dado projecto corresponda efectivamente ao elemento em causa, é possível, em qualquer etapa da concepção do edifício, verificar as intensões do projecto e facilmente proceder a uma extracção automatizada e precisa de áreas de espaços (Eastman et al., 2011, p. 22) e quantidades de materiais directamente provenientes do modelo, fornecendo assim uma alternativa na qual os cálculos manuais são eliminados, a extracção de quantidades é simplificada e as estimativas são eficientes. Para além disto, adapta-se às diferentes iterações do projecto (Abdelmohsen et al., 2011).

Nas etapas mais iniciais, estas estimativas são baseadas em fórmulas que se relacionam com quantidades significativas do projecto (por exemplo, número de espaços de estacionamento, dimensões dos diferentes tipos de área, custo das unidades por m², etc). À medida que o projecto progride e a lista de quantidades é mais pormenorizada, esta pode ser usada para estimativas mais detalhadas e precisas. Numa fase final, a estimativa torna-se ainda mais rigorosa porque será baseada na informação de todos os objectos contidos no modelo. Como resultado, é possível proceder a decisões mais informadas do que até aqui tem sido feito (Eastman et al., 2011, p. 22).

6 BIM na construção e fabricação

As práticas tradicionais assumem hoje em dia um conjunto de projecções ortográficas, a várias escalas e níveis de detalhe, que em conjunto representam um todo, a ideia completa de um edifício. Por sua vez, a metodologia BIM começa com a construção virtual do todo, que depois é visto como uma série de componentes constituintes. Ambrose (2006) pergunta se existe um valor maior na “tradução de ideias para uma representação abstracta” ou na transcrição de ideias para uma “simulação de construção”. É neste sentido que Reddy (2012, p. 7) considera que simular o processo de construção para prever os seus desfechos tem um benefício tremendo, pois esta metodologia pode ser utilizada de forma eficiente na preparação

da construção e fabricação dos componentes necessários. Por estes motivos, McCullagh (2012, p. ix) considera que na última década, com o crescimento do BIM e subsequente desenvolvimento de novas aplicações, o mundo AEC entrou firmemente em verdadeira mudança

A base de dados de materiais inerente a esta metodologia é crucial ao longo de todo o processo de concepção de um edifício mas tem particular utilidade quando se começa a preparar a sua construção. Ao contrário dos métodos tradicionais nos quais duas linhas representam uma parede mas são, na sua génese, apenas linhas às quais nós atribuímos um significado, quando se adiciona uma parede num modelo BIM, estamos a fazê-lo de forma efectiva, adicionando os elementos que a constituem. Dado que a parede tem valores (para a altura, comprimento, materiais, etc), é possível extrair as suas informações (ou de qualquer outro objecto usado no modelo), facilmente descobrindo quantos metros totais de determinada parede temos em determinado projecto, bem como as quantidades dos seus componentes constituintes necessárias para dar início à sua construção. Como temos conhecimento das quantidades dentro de um modelo, é uma simples questão de adicionar o seu valor para determinar uma estimativa do custo do projecto” (Krygiel & Nies, 2008, p. 40).

Esta potencialidade da metodologia não significa que todos os elementos presentes no projecto passarão a ser modelados com o máximo detalhe possível, pois o BIM é flexível neste aspecto. A maioria dos edifícios envolvem milhares de objectos, desde vigas e fundações a rodapés. Frequentemente, alguns destes objectos não justificam a sua modelação, no entanto é necessário representa-los em desenhos para construção. Na eventualidade de não haver interesse em modelar tridimensionalmente determinado elemento (devido à sua complexidade, por exemplo), é possível fazê-lo de forma mais rápida e menos detalhada (mas que não deixe de ser rigorosa), o que não impede o arquitecto de extrair a sua representação bidimensional e adicionar-lhe informação extra, sendo a localização desta secção automaticamente guardada e anotada. Naturalmente, os elementos definidos exclusivamente em 2D perdem os benefícios BIM da troca de dados, custos de materiais e estimativa de custo. No entanto permitem que o arquitecto faça a gestão que entende ser adequada para cada elemento, conforme o projecto em questão.

Eastman (2011, p. 56) refere que apesar de não ser necessário modelar todo o edifício em 3D, os utilizadores avançados estão a mover-se na direcção de modelação total. Considera a mistura de tecnologias boa para qualquer nível de implementação: para iniciantes pode servir de introdução à adopção da metodologia BIM; enquanto utilizadores avançados podem ir desenvolvendo novos usos e adoptando o nível de detalhe adequado às necessidades que procuram. Adicionalmente, (Eastman et al., 2011, p. 64) na eventualidade de um escritório trabalhar com tipos de edifícios ou sistemas que envolvam famílias de objectos especiais, o trabalho de os definir parametricamente é facilmente justificado, visto que providência a capacidade de automaticamente aplicar as práticas da firma em vários contextos nos diferentes projectos com que estejam a trabalhar, salvaguardando também aplicações futuras do mesmo tipo.

Naturalmente, não é realista modelar todos parafusos e pregos de um projecto, nem serão tidas em conta algumas contingências específicas do lugar na estimativa de custo. Ainda assim, é possível obter uma noção bastante aproximada dos custos totais de um edifício com um grau de certeza que um processo exclusivamente 2D não consegue alcançar (Krygiel & Nies, 2008, p. 40). Para além disto, devido ao facto de a metodologia BIM usar o modelo 3D como fonte dos desenhos 2D, também as inconsistências naturais dos métodos tradicionais são eliminadas.

Nos últimos 30 anos, indústrias como a manufacturação, distribuição e finanças foram automatizadas, o que as conduziu a enormes ganhos de produtividade a nível mundial (McCullagh, 2012, p. ix). Como foi abordado na Parte II, a indústria AEC é a excepção a esta regra. Nesta, os avanços da manufacturação através da automatização ainda não tiveram um grande impacto, especialmente porque é extremamente complicado adaptar os métodos tradicionais a estas práticas. No entanto, segundo Ambrose (2006), o BIM oferece a oportunidade de modelar um projecto com níveis de detalhe extremamente altos, que em práticas tradicionais necessitariam de um exercício maior de abstracção na passagem da ideia para a representação. Dado que através da metodologia BIM esta passagem é instantânea, é assim conferido ao arquitecto tempo e recursos adicionais para se focar no projecto propriamente dito.

O modelo pode então ser usado como base para a fabricação dos componentes. Se estes forem desenvolvidos com o detalhe necessário, é possível transferi-los para uma ferramenta de fabricação BIM, facilitando assim a automatização da sua produção. Segundo Eastman (2011, p. 23), esta prática já é corrente na fabricação de aço e alguns trabalhos em chapa metálica, tendo já sido realizadas experiências de sucesso na pré-fabricação de componentes, fenestração e fabricação de vidro. Isto permite que vendedores em qualquer parte do mundo possam trabalhar no modelo, desenvolver os detalhes necessários para a sua produção e manter as características que reflectam a intenção de projecto. Assim, a construção fora do local é facilitada, reduzindo os custos e tempo de construção do edifício.

Este rigor do BIM permite ainda que componentes maiores possam beneficiar destas vantagens, enquanto elementos fabricados exclusivamente através de desenhos 2D provavelmente precisarão de receber ajustes dada a incapacidade de prever as dimensões exactas de certos itens desenvolvidos no local. Como resultado, aplicando a metodologia BIM é possível “trabalhar com equipas de instalação menores, conseguindo processos mais rápidos e que requerem menos espaço de armazenamento no local de construção” (Eastman et al., 2011, p. 23).

Schoch e Russel (2008) referem que uma característica importante da manufaturação *lean* (também conhecida por manufaturação enxuta ou Sistema de Produção Toyota) é a sua abrangente análise de processos e operações, nos quais se incluem a gestão de espaços e informação. Na sua opinião, a discriminação de um grande processo nos seus elementos constituintes é uma forma de alcançar instalações de produção optimizada. Segundo Eastman (2011, pp. 24-25), aplicadas à construção estas técnicas requerem uma coordenação cuidadosa entre o empreiteiro geral e os subempreiteiros para garantir que o trabalho possa ser desempenhado quando os recursos apropriados estiverem disponíveis no local. Assim, minimiza-se o desperdício de esforços e reduz-se a necessidade de inventários de materiais no local. Dado que o BIM fornece um modelo rigoroso do projecto e recursos materiais necessários para cada segmento da construção, fornece assim o básico para um planeamento e agendamento melhorado dos subempreiteiros e ajuda a garantir a chegada de trabalhadores, equipamentos e materiais na hora certa, reduzindo os custos e permitindo uma melhor colaboração no local.

Tendo em conta este carácter multidisciplinar da indústria AEC, existe uma necessidade muito real de coordenar os sistemas produzidos por diferentes equipas e estar preparado para dar resposta simultânea às mudanças que uns implicam noutros. Para tal é possível recorrer a um modelo tridimensional central, no qual os modelos de disciplinas diversas podem ser agregados e comparados de modo que as suas mudanças sejam reflectidas de forma rigorosa em todas as suas vistas, tornando-se fácil a verificação do projecto para eventuais detecções de conflitos [Fig. 3.09]. Assim, estes podem ser identificados antes do início da construção, sendo que reagir às mudanças necessárias acontece mais rapidamente. Dado que com o BIM é possível partilhar, visualizar e estimar as implicações destas mudanças, não é necessário recorrer à transacções de informações por métodos tradicionais que se revelam demorados e propícios a erros. Como resultado a coordenação de equipas diversas é melhorada e erros ou omissões são significativamente reduzidos, aumentando a qualidade do processo de construção, reduzindo os seus custos, minimizando a probabilidade de disputas legais e providenciando um processo mais fluido (Eastman et al., 2011, p. 24).

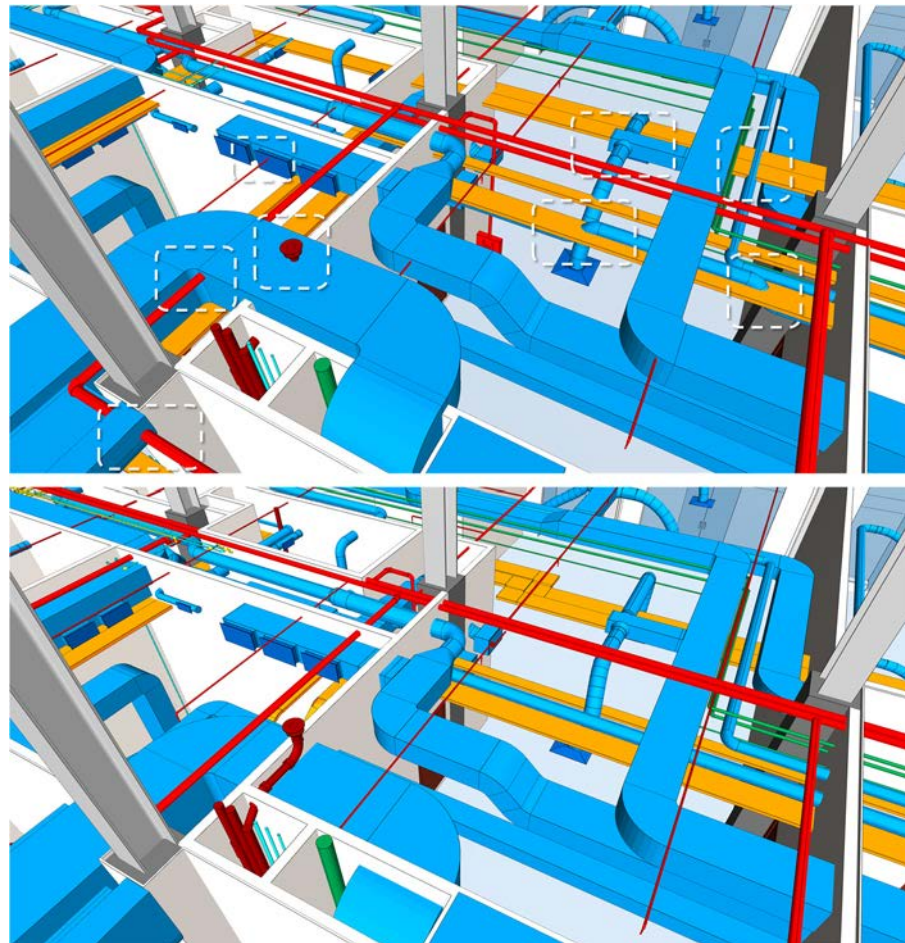


Figura 3.09
Exemplo de detecção de
conflitos, antes e depois

O modelo BIM não representa um processo voltado para si mesmo, alheio ao contexto e às condicionantes locais. Pelo contrário é possível estabelecer a ligação entre este e o local de modo a simular todo o processo de construção e saber em que estado ambos estarão em qualquer momento (Eastman et al., 2011, p. 24). Ao demonstrar diversas visualizações do edifício a construtores é também possível poupar tempo no local (Krygiel & Nies, 2008, p. 40), aumentando o seu nível de compreensão do projecto e do modo como este será construído dia após dia, revelando potenciais problemas e oportunidades para melhoramentos (espaço, equipas e materiais, conflitos, problemas de segurança, etc.) (Eastman et al., 2011, p. 24). Um empreiteiro que esteja familiarizado com o BIM pode usar o modelo para identificar áreas de um projecto que documentos tradicionais não permitem visualizar rapidamente (Krygiel & Nies, 2008, p. 40), tornando esta prática não só uma vantagem em relação a métodos exclusivamente 2D (que não têm como proceder ou antever tais circunstâncias) como pode beneficiar do uso de objectos temporários no modelo (como escoramento, andaimes, guindastes) para agendar a construção ou até mesmo tirar partido de sistemas de informação geográfica com capacidades de posicionamento automatizado de material (Eastman et al., 2011, pp. 24-25).

7 BIM pós construção e gestão do edifício

A metodologia BIM não termina necessariamente assim que a construção do edifício esteja concluída. Durante o processo de construção tanto o empreiteiro geral como os responsáveis pelos sistemas mecânico, eléctrico e canalização recolhem informação sobre os materiais instalados e a sua manutenção para entregar ao proprietário (Eastman et al., 2011, p. 25). Esta pode ser ligada ao modelo BIM, tornando-se assim útil não só para efeito de inventário e rastreamento de bens mas também para a gestão do ciclo de vida do edifício.

Para além da gestão existe uma tendência crescente para a integração de sistemas de gestão predial. Segundo (Reddy, 2012, pp. 8-9) o conceito de “edifício inteligente” já existe há várias décadas, no entanto o desafio tem sido, de um modo geral, a necessidade de informação detalhada sobre o edifício, os seus sistemas e “inteligência”. No entanto, dado que agora muitos novos edifícios têm informação detalhada proveniente do recurso à metodologia BIM, integrar essa informação nestes sistemas de gestão inteligentes torna-se mais fluído. Da mesma forma que uma rede

de computadores é uma série de sistemas ligados, um sistema de gestão predial é uma rede dos sistemas de um edifício. Estes incluem a ocupação, segurança, aquecimento, sistema AVAC, iluminação, água, protecção contra incêndios e alarmes, sombreamento, sistemas de comunicação, etc.

Outro benefício destes sistemas é o de conferir ao proprietário a capacidade de analisar o registo histórico do edifício e gerar análises sobre a performance do edifício. Estes dados podem não só ser usados para modificações futuras como representam conhecimento para eventuais novas instalações (Reddy, 2012, pp. 9-10).

Um modelo BIM suporta o monitoramento dos sistemas de controlo em tempo real e apesar de algumas das suas capacidades ainda não terem sido alcançadas, estes têm-se tornado cada vez mais sofisticados, dado que a metodologia BIM fornece uma plataforma adequada ao seu desenvolvimento (Eastman et al., 2011, p. 25) Os custos associados a operar um edifício, combinados com as iniciativas sustentáveis que muitas empresas estão a tomar, fazem crer que estes sistemas rapidamente se tornarão uma necessidade, especialmente porque à medida que o tempo passa a tecnologia tem-se tornado mais amplamente disponível e com melhor capacidade de integração (Reddy, 2012, p. 10).

5^a Fig. IV

BIM como ferramenta para a sustentabilidade

1 Breve história do projecto sustentável

A prática da sustentabilidade é bastante antiga. Se tivermos em conta algumas culturas indígenas, veremos que eram capazes de adaptarem a localização e o material das suas estruturas de acordo com o lugar e o clima. Claros exemplos disto incluem os igloos construídos na Gronelândia ou na região Ártica Central Canadana, feitos com materiais locais, que eram construídos de modo a preservar o calor e resistir ao vento; os *tipis* (tendas cónicas) dos povos nativos da América, construídos com materiais vegetais e animais encontrados na região, que eram leves e fáceis de transportar, de modo a serem reutilizáveis (Krygiel & Nies, 2008, p. 2); ou os povos Anasazi, que utilizavam cavernas formadas naturalmente nas rochas como local de algumas das primeiras civilizações sedentárias, adicionando-lhes estruturas construídas com materiais encontrados no local [Fig. 4.01] (Morrow & Price, 1997, pp. xv-xvii).

Com o passar do tempo e a sedentarização das civilizações, os edifícios adquiriram um significado político e cultural, visto que a Humanidade já não construía meramente para sobreviver. Posteriormente, com a Industrialização tornou-se possível aumentar a produtividade mantendo a carga de trabalho. Neste sentido, os recursos naturais deixaram de ser avaliados pelo seu verdadeiro custo, sendo tratados como se fossem abundantes, quase ilimitados e muito baratos. Nesta altura os edifícios ainda estavam a funcionar com luz e ventilação natural, no entanto, com o desenvolvimento de melhores tecnologias para luz eléctrica e elevadores, bem como o aparecimento de sistemas AVAC a indústria afastou-se de um desenho que era específico para um lugar, clima e cultura, aproximando-se de uma certa uniformidade. Actualmente, a maior parte do nosso aquecimento e arrefecimento é

Figura 4.01
Cliff Palace no Parque
Nacional Mesa Verde em
Montezuma, Colorado



mecânico, a iluminação é artificial, os materiais chegam de qualquer parte do mundo e constrói-se em qualquer zona climática (Krygiel & Nies, 2008, pp. 3-5). No entanto, tendo em conta a presente situação de crise que estamos a enfrentar a uma escala global, tornou-se necessário prestar atenção a aspectos económicos e ambientais das nossas sociedades a um nível que nos força a reconsiderar muitas das formas tradicionais com que lidamos com o mundo à nossa volta. Naturalmente, isto inclui o sector da construção. Segundo Hermund (2009), a conclusão a que se tem chegado é a de que é preciso construir de forma mais sustentável e aumentar a eficiência, com vista a neutralizar alguns dos cenários que um aumento no custo de vida e esgotamento de recursos irão criar a uma escala global.

2 Definir projecto sustentável

De acordo com Nicholson (2004), um sistema sustentável pode ser definido como aquele cujo sucesso não represente uma degradação ou redução dos recursos que o alimentam nem do ambiente que o envolve. Esta ideia vai de encontro com a definição de sustentabilidade estabelecida pela Brundtland Commission (1987) no relatório *World Commission on the Environment and Development* das Nações Unidas. Segundo esta, o “desenvolvimento sustentável satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade de gerações futuras satisfazerem as suas próprias”. Nicholson (2004) diz que o conceito de desenho e construção sustentável surge da facilidade de adoptar estas noções à indústria da construção, em particular porque os edifícios têm um impacto muito grande no ambiente (representando cerca de 1/6 da retirada de água doce a nível mundial, 1/4 da recolha de madeira e pelo menos 2/5 do fluxo de materiais e energia)

A crise dos nossos tempos certamente terá um impacto nos valores gerais da sociedade. Segundo Hermund (2009), isto já se começa a reflectir, por exemplo no tamanho dos carros desejados: há poucos nos atrás, carros que consumiam muito combustível eram um símbolo aceite de estatuto, no entanto, hoje em dia, devido a uma “maior consciência da responsabilidade económica, a atmosfera ecológica tem expandido uma moda ética que lidera uma crescente adopção de carros menores e mais eficientes como uma declaração de responsabilidade sustentável”. Esta tendência pode também ser observada na arquitectura. Segundo Nicholson (2004), em termos históricos a indústria da construção tem vindo a seleccionar o custo inicial mais baixo

para construir um projecto, focando-se assim em minimizar o investimento inicial do proprietário. No entanto, com a crescente consciencialização dos impactos negativos no ambiente a indústria tem-se redireccionado num sentido em que menos matéria-prima tem vindo a ser usada e as questões do transporte e manufactura de materiais têm sido tidos mais em conta. Podemos considerar que há uma década esta mudança foi maioritariamente voluntária, no entanto com o advento de novos requerimentos e restrições mais rígidas esta pratica tem-se tornado cada vez mais “obrigatória”.

Como refere Abeer (2012), o desenho sustentável é tipicamente associado a um primeiro custo mais elevado mas também a tecnologias mais eficientes que compensam tais custos através de poupanças significativas ao longo do ciclo de vida do projecto.

Com isto a própria indústria AEC deixou de se usar o termo “verde”, dando preferência ao “sustentável”. Apesar de ter tornado a palavra mais “pesada”, esta representa uma melhoria na forma como se pensam os edifícios: um projecto sustentável é melhor que um projecto verde, porque a sustentabilidade tem em conta uma maior número de impactos do que apenas o fardo do ambiente natural. Enquanto há duas décadas um edifício seria considerado “verde” se fizesse uso de materiais reciclados, um edifício sustentável nos dias de hoje tem de considerar todo o seu ciclo de vida (Krygiel & Nies, 2008, p. 10). Arquitectos, construtores e proprietários precisam ter atenção à extracção de matérias-primas, local e processos de manufacturação, durabilidade, reuso e capacidade do material ser reciclado. A nossa responsabilidade enquanto arquitectos é tradicionalmente vista para com os ocupantes dos edifícios que projectamos. No entanto, tendo em conta que as nossas escolhas afectam a vida humana para além de um determinado edifício ou lugar (Krygiel & Nies, 2008, p. 13) o impacto destas vai desde as pessoas que manufacturam as matérias e produtos dos quais o edifício é composto até aos habitantes na envolvente do projecto.

Com os avanços tecnológicos e o aumento do número de sistemas e requisitos que um edifício tem de cumprir, é natural que a construção se tenha tornado mais complexa. Dado que é necessária mais informação sobre mais sistemas houve uma necessidade de adaptação a esta nova realidade. Isto exige aos arquitectos e empreiteiros que mais tempo seja gasto a coordenar estes sistemas e a gerir os negócios e instalações no local, o que por sua vez exige ao proprietário uma equipa

com mais conhecimentos para manutenção e gestão. Estes aumentos em especialização, escala e complexidade adicionaram tempo e custos ao processo e ciclo de vida do edifício, o que por sua vez levou a um declínio geral na sua performance e aumento do seu consumo energético.

Analisando o fluxo de material (em toneladas) de várias indústrias, entre 1900 e 2000 [Fig. 4.02], é possível concluir que apesar de todas terem demonstrado um incremento nos últimos 100 anos, a indústria da construção tem representado claramente o aumento mais significativo, tendo aumentado para níveis particularmente alarmante após a Segunda Guerra Mundial (Krygiel & Nies, 2008, pp. 29-30). Markova (2013) refere que o aumento da escassez de recursos e da produção de desperdícios são problemas globais e urgentes. Para lá dos recursos energéticos, tanto o grupo de materiais afectados (metais, não metais e grande parte dos produtos orgânicos), assim como os resíduos perigosos ou não reutilizáveis (plásticos, materiais compostos como o betão reforçado com fibra de vidro) têm crescido constantemente – em contraste com os espaços disponíveis que têm decrescido rapidamente. Segundo Larsen (2011), o sector da construção constitui uma grande parte destes problemas, consumindo cerca de metade dos recursos materiais e produzindo mais de 65% dos resíduos. Markova (2013) aponta três causas para este facto: em primeiro lugar, a performance ambiental dos projectos (reciclabilidade dos materiais, redução de desperdício, etc) não é considerado um objectivo tão importante como outros do processo de construção; em segundo, dado a grande diversidade de ferramentas e

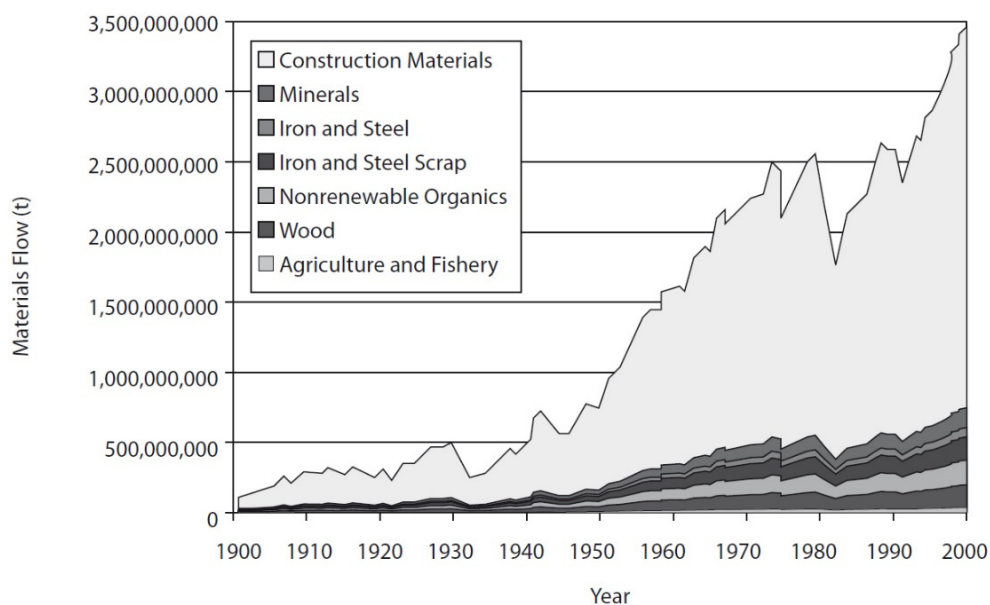


Figura 4.02
Uso de materiais em
várias indústrias nos
últimos 100 anos

formatos no projecto típico, a necessidade interdisciplinar de simulações ambientais não está disponível em quantidade e qualidade uniforme; o que leva ao terceiro factor, a falta de simulação e optimização da eficiência dos materiais durante a etapa de desenho do projecto.

À medida que os custos e complexidades de construir um edifício aumentam, somos inundados com mais e mais informação para gerir. Perante este problema é preciso encontrar maneiras mais eficazes de coordenar a informação, comunicar claramente com as várias entidades envolvidas e entender melhor o nosso papel na ecologia global, pois se os métodos não forem mudados as tendências alarmantes certamente que se irão manter. Hermund (2009) considera que novas maneiras de reagir e novas mentalidades são necessárias para encontrar soluções, apontando o BIM como parte desta nova mentalidade. Um dos benefícios únicos do BIM é a possibilidade de exportar a geometria do projecto para outras aplicações de modo a acelerar a análise que tem de ocorrer para verificar princípios de desenho sustentável (por exemplo análise de luz solar). Outras vantagens incluem a possibilidade de usar os cálculos automáticos de áreas e quantidades para aproveitamento de águas pluviais, calcular a orientação e área de painéis solares ou mesmo calcular a quantidade de materiais reciclados dentro dos componentes do edifício (Krygiel & Nies, 2008, p. 40).

3 Metodologia para soluções sustentáveis

Desenvolver soluções sustentáveis requer uma expansão do pensamento tradicional, visto ser necessário incluir mais condicionantes e considerar um período de tempo maior enquanto se tomam decisões na fase de projecto. Uma metodologia que procure a sustentabilidade precisa de ir para lá das preocupações do consumo de energia e expandir a outros parâmetros. Neste sentido, interessa em primeiro lugar perceber quais os parâmetros mais importantes a ter em conta e por fim como o BIM pode potenciar a sua aplicação.

1. Entender o clima, cultura e lugar

Entender o clima é um dos primeiros desafios de qualquer equipa de arquitectos. Krygiel e Nies (2008, p. 77) dão o exemplo americano de como muitos arquitectos se têm esquecido, comparando as torres de escritórios das cidades de Chicago e Houston: apesar destas cidades terem climas drasticamente diferentes, as

torres nestas cidades são bastante semelhantes. Segundo Langar (2013, p. 1), historicamente o planeta tem sido entendido como uma “fonte inesgotável de recursos”. Isto tem levado à atitude de colocar um edifício sem ter em conta o clima do seu local, usando a energia que for necessária para manter os seus ocupantes confortáveis (através de sistemas mecânicos), resultando numa realidade na qual muitos edifícios parecem o mesmo e o seu consumo energético é elevado.

Em relação ao local, é importante ter conhecimento dos valores de latitude e longitude. Com estes é possível descobrir em que sentido fica o Sul solar (que difere do Sul magnético), maximizando assim o uso do Sol para aquecimento passivo, energia e luz. Segundo Nicholson (2004), um sistema solar passivo engloba uma grande variedade de estratégias cuja finalidade é aproveitar o poder do Sol para alcançar aquilo que de outra forma requer energia eléctrica, gás ou outra fonte. Este sistema tem em vista permitir que luz, calor e fluxo de ar entrem no edifício apenas quando são necessários e em quantidades controladas, aumentando o conforto dos seus ocupantes sem recorrer a outras fontes energéticas. Um edifício bem desenhado irá usar as funções referidas em uníssono de modo a criar um ambiente interno confortável, saudável e eficiente em termos energéticos.

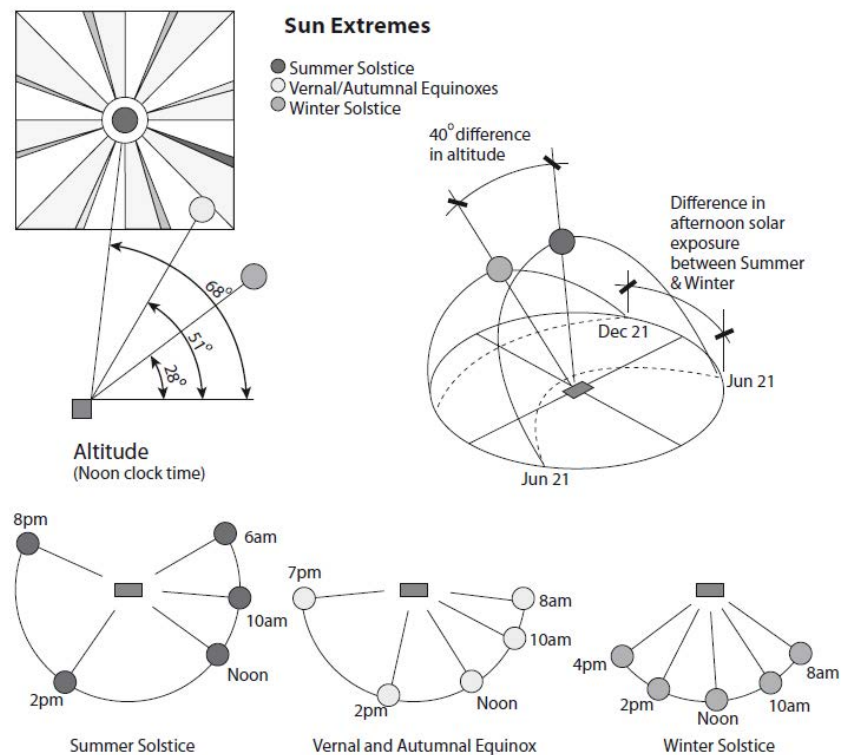


Figura 4.03
Importância de uma correcta orientação do edifício de acordo com o local

Em relação ao ângulo com que o Sol incide em determinada área, combinando estes dados com a localização é possível determinar os melhores ângulos para orientar o edifício [Fig. 4.03]. Esta informação é extremamente útil não só nas fases conceptuais iniciais mas também na escolha dos melhores lugares onde colocar os vidros, assim como eventuais dispositivos para minimizar o aquecimento e penetração de luz solar directa indesejável. Ao saber os níveis de insolação de determinado local é também possível determinar o tamanho dos colectores solares necessários para o aquecimento de água ou geração de electricidade. Para além disto, com a informação da temperatura é possível identificar períodos durante os quais o projecto poderá ser ventilado naturalmente (Krygiel & Nies, 2008, pp. 79-81). Esta informação tem também utilidade no caso do sombreamento externo ser uma opção (ajudando a obter um desenho que bloqueie o calor indesejado durante estações quentes e não o faça nas estações frias).

2. Entender o tipo de edifício

Entender como um tipo particular de edifício responde ao clima que o envolve é um grande desafio para se obter o sucesso desejado, pois a sua necessidade de recursos varia conforme o tipo e local. Segundo Krygiel e Nies (2008, pp. 91-96), se tivermos como exemplo uma pequena habitação, enquanto edifício relativamente pequeno e com poucos ocupantes, esta reage mais às mudanças ambientais externas do que internas, necessitando de uma resistência térmica elevada. Por outro lado, um edifício de escritórios é normalmente muito maior, tem mais ocupantes, mais equipamento e um uso totalmente diferente. Não deixa de ser necessário ter uma boa resistência térmica, mas não faria sentido que esta fosse ao mesmo nível do de uma habitação. Para este caso existem outras maneiras de reduzir a carga energética, como por exemplo através do envidraçamento, sombreamento externo, controlo de luz automatizado, equipamento eficiente, etc.

3. Reduzir o consumo de recursos

A criação de determinado espaço tem custos directamente associados: primeiro, na forma da sua construção; posteriormente, na sua manutenção. Neste sentido uma abordagem sustentável (tanto em termos ambientais como económicos)

implica que o arquitecto se interrogue se o espaço e a sua dimensão são efectivamente necessários.

Relativamente ao consumo energético, existem muitas maneiras de o reduzir. A referida orientação do edifício para o Sul solar pode ser associada com uma forma alongada no sentido este-oeste, de modo a maximizar os benefícios da exposição solar. Adicionalmente, ao seleccionar o local, tipo de vidro e percentagem de envidraçamento adequados, é possível regular a luz artificial necessária de forma eficiente (Krygiel & Nies, 2008, pp. 98-99). Para além disto, melhorar a penetração de luz diária é possível com recurso a mecanismos de sombreamento externos e estantes de luz (colocada acima do nível dos olhos, reflectindo a luz para espaços mais interiores) que podem cumprir múltiplas funções [Fig. 4.04].

O desenho de espaços interiores com acesso adequado a luz solar permite uma redução da necessidade de luzes artificiais, reduzindo assim os custos energéticos enquanto simultaneamente diminuindo os ganhos de calor gerados por fontes eléctricas. Esta redução de calor pode permitir sistemas AVAC menores, poupando ainda mais em custos energéticos. Para além disto, a luz natural é a fonte de luz de melhor qualidade e mais eficiente que existe hoje, havendo diversos estudos que têm demonstrado que espaços interiores com acesso directo a luz natural criam “ambientes de trabalho mais saudáveis e estimulantes” (Nicholson, 2004), aumentando assim a produtividade dos ocupantes.

Segundo Nicholson (2004), a energia gasta em iluminação representa entre 40 a 50% dos gastos energéticos de edifícios nos EUA. Ao mesmo tempo, estudos como o do Rocky Mountain Institute (1988) dizem que estratégias adequadamente



Figura 4.04
Estante de luz com função
estrutural e iluminação
artificial para o piso inferior

desenhadas e implementadas podem significar poupanças entre 50 a 80% da energia eléctrica necessária para as necessidades de espaços interiores. Aplicadas em conjunto estas estratégias têm a capacidade de reduzir largamente a necessidade de arrefecimento de um edifício,

4. Usar recursos e sistemas naturais grátis/loais

O vento, a chuva e o Sol são grátis: apenas é necessário pagar pelos sistemas que recolhem estes recursos. Embora seja verdade que cada um deles é imprevisível numa base diária, os padrões temporais já foram suficientemente estudados de modo a prever com razoabilidade a sua disponibilidade numa base mensal ou anual.

O vento pode ser usado maioritariamente para duas coisas: gerar energia e ventilar naturalmente um edifício. Em particular, interessa perceber o uso da ventilação. De modo a obter o sistema mais eficiente possível, um edifício deve ter simultaneamente o sistema de ventilação natural e mecânica, visto que, em climas favoráveis, a ventilação natural pode ajudar a reduzir os gastos energéticos, melhorar a qualidade do ambiente interno (através do ar fresco e menor ruído mecânico) e reduzir os custos operacionais (Krygiel & Nies, 2008, pp. 103-105). Por sua vez, o recolhimento das águas pluviais é uma medida particularmente usada em zonas onde a pluviosidade é reduzida (Nicholson, 2004) e permite que estas águas substituam a água potável nas funções onde a potabilidade não é necessária,

Quanto à escolha de materiais para determinado projecto, é importante lembrar o compromisso para com o local. Krygiel e Nies (2008, p. 114) defendem que parte das razões segundo as quais as pessoas são atraídas para uma cidade é o seu carácter, a sua identidade e regionalismo. Na sua opinião, isto consegue-se adoptando uma materialidade que esteja disponível localmente. Hoje em dia, os materiais de construção são transportados de forma global, necessitando de demasiados combustíveis fósseis e criando emissões prejudiciais. Por outro lado, ao escolher materiais locais é possível reduzir estes factores negativos e ao mesmo tempo ter um impacto positivo na economia local.

5. Usar sistemas eficientes criados pelo Homem

É extremamente improvável que todas as necessidades de um edifício possam ter resposta através de sistemas naturais. No entanto, se as estratégias anteriormente

referidas forem aplicadas, o projecto será optimizado, necessitando assim de menos recursos. Deste modo, o tamanho dos sistemas mecânicos será reduzido, evitando o aumento do seu custo, gastos energéticos e encurtamento da vida do produto (Krygiel & Nies, 2008, p. 115). Quanto ao aquecimento de água, este é tradicionalmente feito através do aquecimento contínuo de uma cisterna. Esta, como toda a gente que já teve de esperar uns minutos para a água efectivamente sair quente sabe, é ineficiente, pois a água que se encontra no tubo de fornecimento muitas vezes já arrefeceu e é desperdiçada. Alternativas incluem o recurso a um sistema solar passivo que pré-aquece a água (Nicholson, 2004) ou então unidades de aquecimento *on-demand* (Sydenstricker, 1992), reduzindo a necessidade de tentar manter uma cisterna a uma determinada temperatura de forma contínua.

6. Compensar os impactos negativos

Por fim, os impactos negativos de um edifício podem ser medidos em unidades equivalentes a emissões de dióxido de carbono. Estas podem ser compensadas ao apoiar programas que reduzem este tipo de emissões, com o objectivo de chegar a um resultado neutro de zero emissões, negando o impacto de projectar e construir as instalações (Krygiel & Nies, 2008, p. 125).

4 BIM sustentável - forma

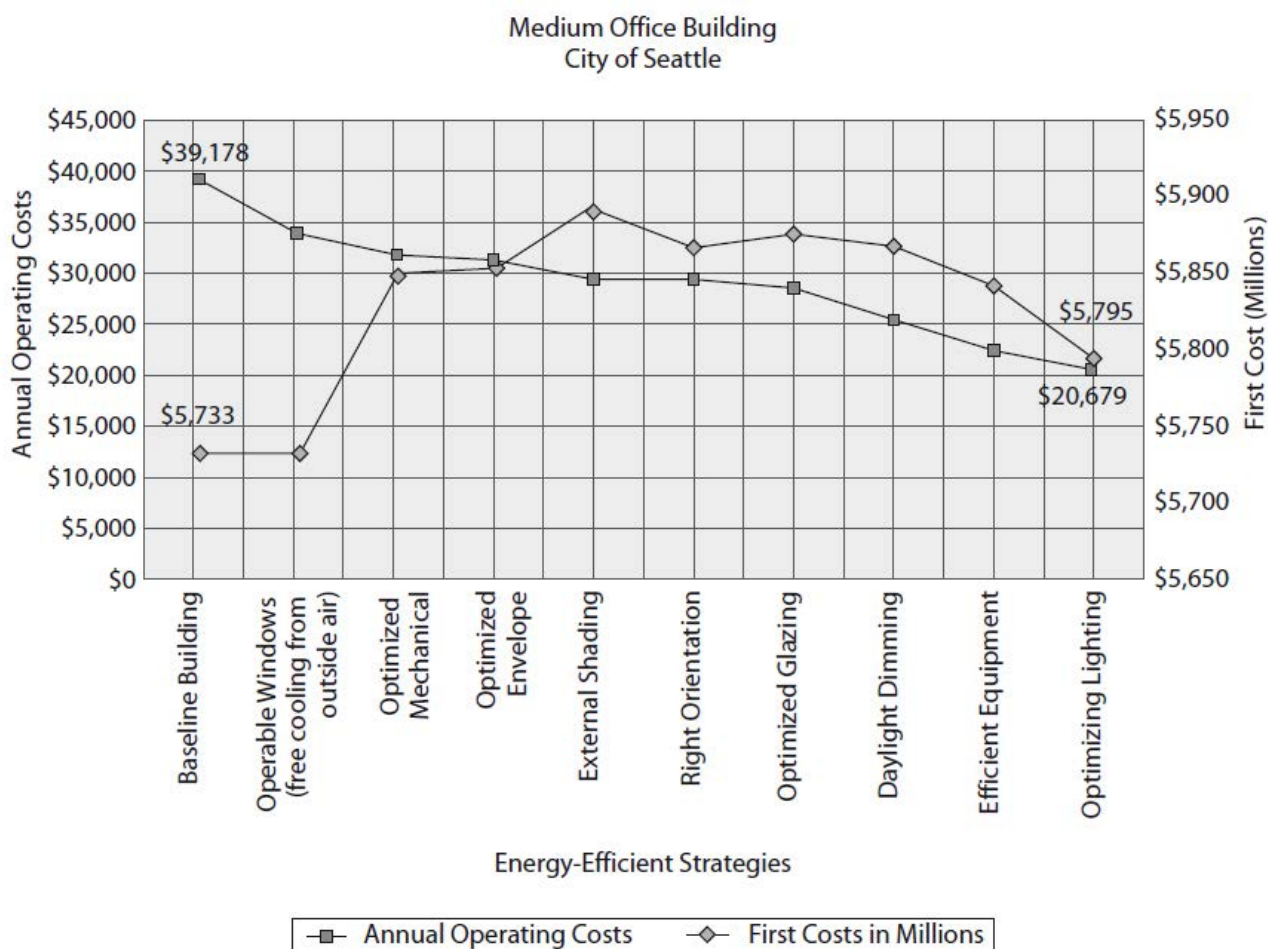
É importante perceber que muitas estratégias são simultaneamente cumulativas e interdependentes. Isto significa que adicionadas, o seu benefício multiplica, enquanto parar demasiado cedo pode até representar um custo inicial mais alto sem os benefícios a longo termo. O gráfico seguinte [Fig. 4.05] usa um edifício de escritórios médio na cidade de Seattle para mostrar o efeito cumulativo que diferentes medidas têm no custo de um edifício. O losango representa o custo inicial de construção (em milhões), enquanto o quadrado representa o custo operacional anual. Como se pode ver, o custo inicial aumenta drasticamente com a adição das primeiras medidas de eficiência energética. No entanto, conforme a eficiência aumenta e opções menos custosas são adicionadas, não só o custo operacional desce como também desce o custo inicial do projecto. Quando as estratégias certas são combinadas, os grandes custos iniciais e operacionais tornam-se menores porque a carga energética necessária é reduzida (Krygiel & Nies, 2008, pp. 128-129). É importante ter em conta que a

construção de um edifício apenas é paga uma vez, no entanto um sistema desperdiçador ou ineficiente é pago sempre que este é usado.

“1:5:200” é um rácio conhecido na indústria da construção (Evans, Haryott, Haste, & Jones, 2004) Segundo este, por cada euro gasto no custo inicial de uma construção, 5 são gastos na sua manutenção e operação ao longo dos anos e 200 em custos operacionais ligados ao negócio (incluindo salário do pessoal). Dada a quantidade de variantes que influencia estes números, o seu cálculo não é uma tarefa fácil. Assim, estes valores servem mais como uma espécie de regra geral do que como fórmula literal.

Insatisfeitos com este “mito”, Hughes et al. (2004) procuraram obter números mais exactos com base em dados de edifícios construídos. Referem portanto que um número mais realista depende de uma grande variedade de condicionantes bem como do número de anos que podem ser entendidos como o “ciclo de vida” de um edifício, no entanto apontam o rácio de 1:0,4:12 como um valor mais realista.

Figura 4.05
Comparação de custo
operacional anual e
custo inicial de
construção



Mesmo tendo em conta este valor muito mais conservador, o custo inicial de um projecto não deixa de ser um valor reduzido quando comparado com os valores que todo o seu ciclo de vida representem e portanto interessa mais sensibilizar tanto para melhores práticas de projecto e construção como para as necessidades de manutenção dos edifícios do que descobrir os números exactos.

Orientação do edifício

Uma orientação adequada ajuda a otimizar estratégias passivas baseadas na energia solar (e às vezes também do vento), naturalmente criando soluções com menores necessidades energéticas em termos de luz, aquecimento e arrefecimento. Apesar desta orientação sozinha apenas gerar ganhos de eficiência energética de valores com um dígito percentual [Fig. 4.06], como anteriormente demonstrado, ela estabelece um princípio de sucesso que outras estratégias tirarão parte (por exemplo painéis fotovoltaicos) (Krygiel & Nies, 2008, p. 132).

Independentemente do clima, queremos que a luz solar seja a principal fonte de iluminação de um edifício. Descobrir o Sul Solar é extremamente simples com o auxílio de uma aplicação BIM, pois ao seleccionar o local do projecto a aplicação irá fornecer os valores da latitude e longitude necessários para calcular o ângulo que procuramos.








Orientation	Rotations from true South	Orientation	
		Energy Use KBtu/sf-year	Annual Operating Cost Savings (over base case)
	90° W	61.9	Base Case
	45° W	62.1	0%
	15° W	60.9	0.9%
	0°	61.2	0.7%
	15° E	60.7	1.3%
	30° E	61.5	0.7%
	45° E	61.7	0.5%

Figura 4.06
Ganhos de eficiência
energética relacionados
com a orientação

Volumetria

Os edifícios têm uma grande flexibilidade no que diz respeito à sua volumetria, no entanto, dentro de cada tipologia existem certas proporções que se tornaram a norma ou pelo menos mais aceitáveis (seja por questões estéticas ou funcionais). No entanto, e dado que não se quer que todos os edifícios tenham a mesma aparência, é importante perceber as oportunidades ideais específicas de cada um, adaptando com conformidade. Ao adequar a volumetria a cada circunstância, é possível obter edifícios com menores necessidades energéticas (Krygiel & Nies, 2008, p. 139). Isto permite gastar mais fundos em equipamento eficiente, tornando a compra de sistemas renováveis mais aceitável.

Um dos aspectos mais importantes que os arquitectos têm de considerar nas etapas iniciais de um projecto são as poupanças energéticas, custos, conforto térmico e efeitos ambientais que se irão produzir. Durante estas etapas iniciais muitas opções não são avaliadas ou são-no com recurso a pressupostos que podem levar a soluções inapropriadas (Bennadji, Ahriz, & Alastair, 2004). Neste sentido, numa etapa inicial na qual interessa explorar diferentes tipos de volumetria, o BIM pode fornecer muita informação valiosa sobre as diferentes alternativas a considerar. Krygiel e Nies (2008, p. 143) dão o exemplo de um edifício de escritórios que projectaram para uma zona suburbana. Em primeiro lugar começam por estabelecer uma forma e volume base que irá servir para estabelecer noções comparativas sobre as vantagens e desvantagens com as outras opções formais equacionadas. Todas estas deverão ter os mesmos valores básicos (mesmo espaço ocupável, número de utilizadores, mesma luz, sistema AVAC, etc) para tornar a comparação útil. Dado que à medida que se experimentam formas diferentes o volume da área de fachadas irá mudar, estes valores têm um impacto no custo final do edifício e nas suas cargas energéticas.

De modo a assegurar consistência nesta comparação, foi estabelecido um parâmetro na aplicação BIM que garante que o número de metros quadrados total é o valor pedido no programa do cliente. O edifício base foi então estabelecido com uma relação comprimento/largura de 3:2 e com dois pisos [Fig. 4.07]. Idealmente, de modo a obter a melhor luz solar possível, havia o interesse em reduzir a sua largura para aproximadamente metade do valor base. No entanto, esta restrição implicava que o edifício tivesse 4 pisos, tornando-o mais caro devido a exigências extra para este tipo

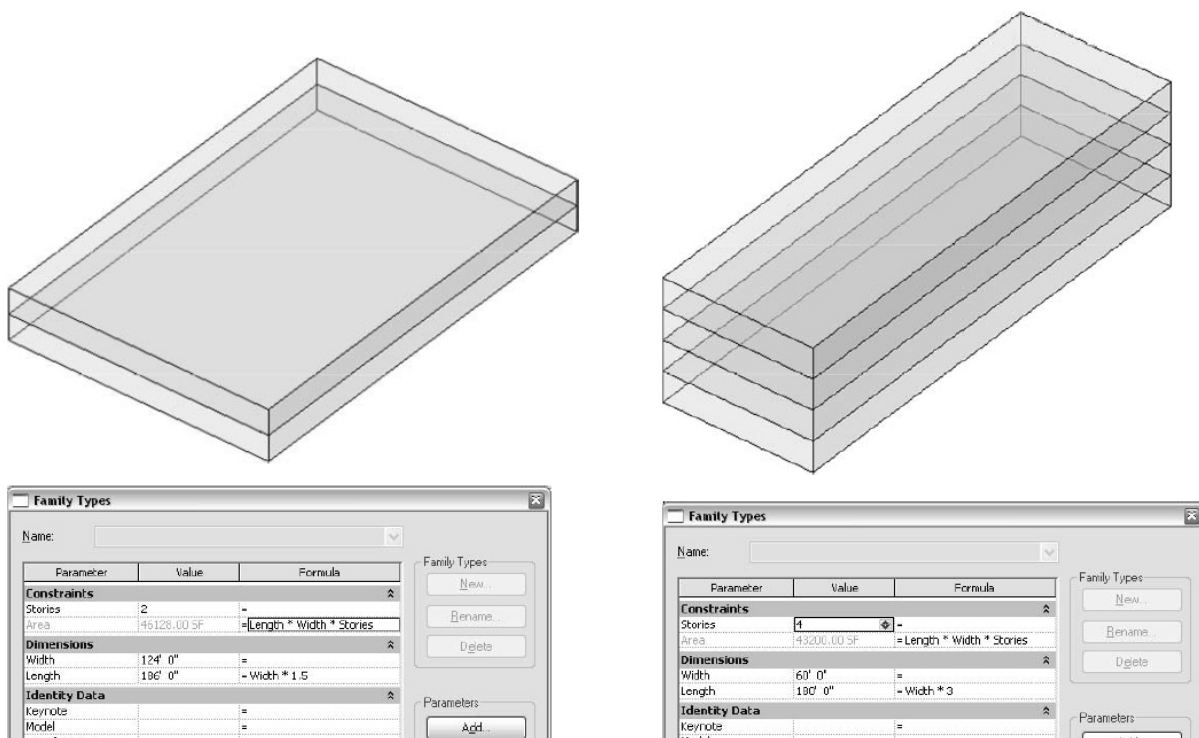
de estruturas [Fig. 4.08]. Assim, foi decidido voltar a volumetrias com dois pisos, experimentando um edifício em forma de “C” [Fig. 4.09] (Krygiel & Nies, 2008, pp. 143-145).

O BIM permite a flexibilidade de experimentar diferentes esquemas na procura da melhor solução, mantendo as restrições programáticas que nos são exigidas. Dado que para desenvolver soluções sustentáveis é necessário equilibrar diversos factores económicos, é preciso considerar o custo geral das diferentes opções. Segundo Krygiel e Nies (2008, pp. 146-147), o exemplo em forma de “C” representa um aumento do custo inicial de construção em comparação com a volumetria base, visto ter uma quantidade de fachada superior. No entanto, de modo a perceber qual das soluções se tornará mais sustentável a longo prazo, é necessário simular algumas das estratégias de projecto das diferentes opções. Ao fazer algumas deduções sobre custos comuns a todos os esquemas (como o sistema AVAC, envidraçamento, propriedades das paredes exteriores, etc) é possível comparar a eficácia de optimização das estratégias energéticas e custos operacionais. Para tal, basta exportar os modelos BIM para um *software* de análise e fazer simulações.

Figura 4.07
Forma base, relação 3:2,
dois pisos

Figura 4.08
Opção com 4 pisos

Com as várias iterações do projecto, é necessário saber qual a melhor abordagem para este edifício, lugar e clientes particulares. Exportando os modelos para a ferramenta de



análise, é possível comparar o custo energético anual de cada uma delas. O resultado da simulação, que usou parâmetros iguais nos diferentes sistemas anteriormente referidos [Fig 4.10], começa por demonstrar o uso base de energia por pé quadrado (1ª barra). Com o acumular de melhorias no invólucro do edifício (2ª barra), envidraçamento (3ª barra) e reguladores automáticos da intensidade de luz (4ª barra), é possível perceber quão rapidamente os custos energéticos anuais descem e portanto qual o verdadeiro custo de possuir e operar o edifício. Como demonstrado pelos resultados, enquanto a forma base só pode ser otimizada em 12%, o edifício de quatro pisos pode economizar 20% em energia e o edifício em forma de C 22%, representando valores significativos no seu ciclo de vida.

A redução de custos energéticos possibilita assim um menor tamanho dos sistemas mecânicos necessários, em parte compensando o custo inicial mais alto destas medidas. Ao continuar a ajustar e reanalisar a forma do edifício, é possível criar uma forma que não só tem uma melhor performance e é visualmente apelativa como também providencia o melhor ambiente possível para os seus ocupantes.

Edwards e Torcellini (2002) referem que os benefícios da luz natural se estendem para lá das questões arquitectónicas e energéticas, sendo importante considerar aspectos psicológicos e fisiológicos, visto que espaços melhores e mais confortáveis fornecem benefícios (não só de produtividade) aos seus utilizadores. Tendo em conta que os custos com o pessoal são muitas vezes a parte mais cara de uma organização, o investimento implicado por estas melhores acaba por se revelar reduzido no longo prazo.

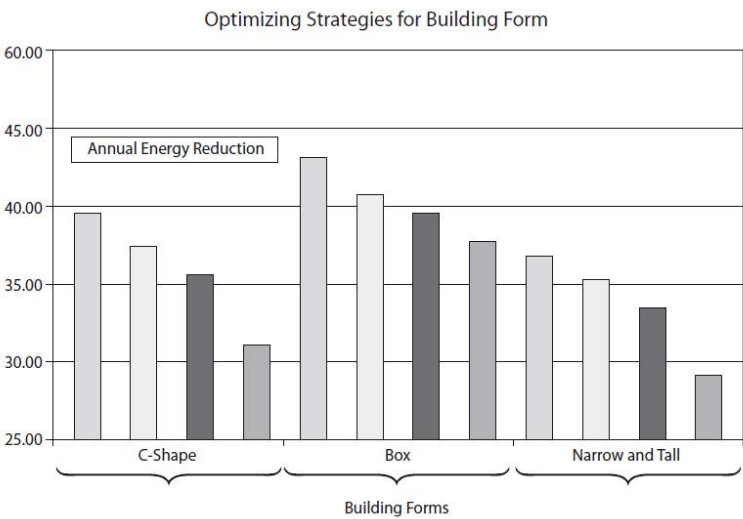
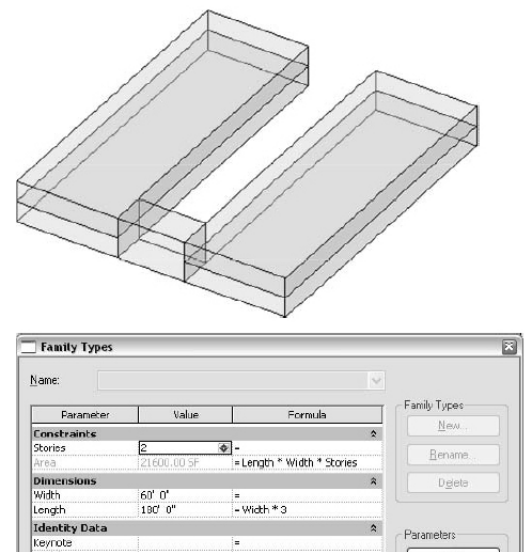


Figura 4.09
Opção em forma de “C”

Figura 4.10
Resultado comparativo
das simulações

Luz natural

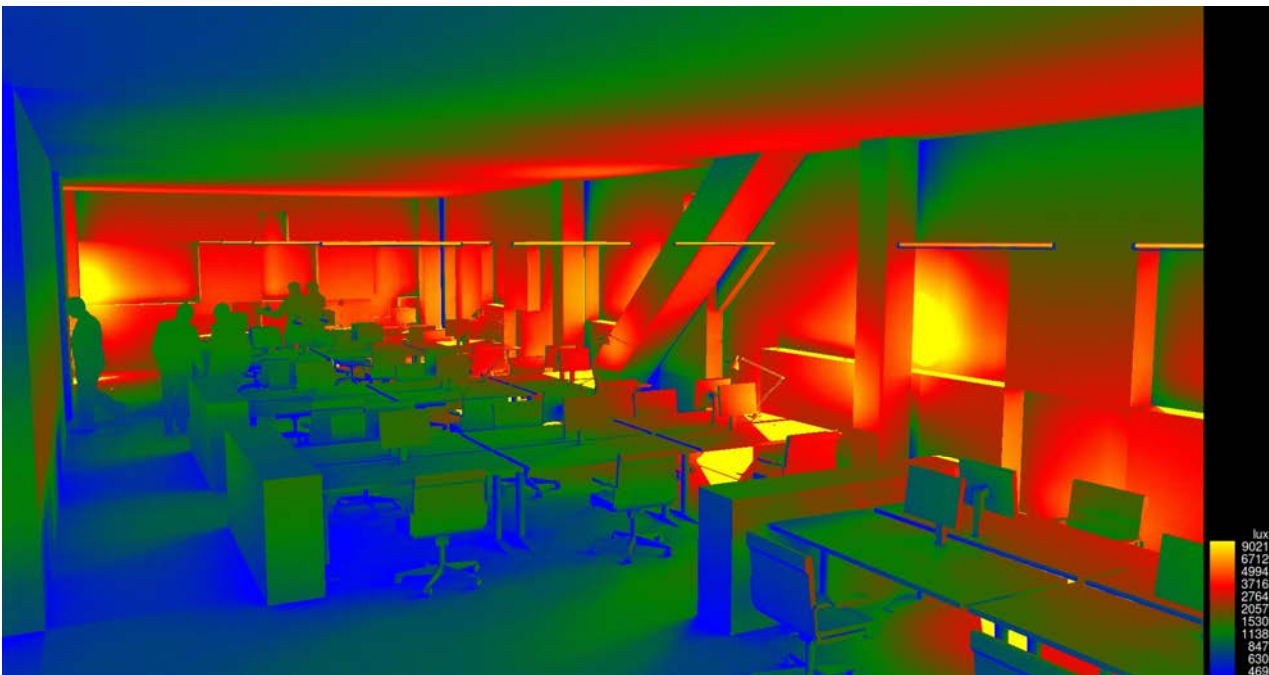
Com o BIM é possível efectuar a análise da luz natural [Fig. 4.11] do projecto com facilidade. Para tal é necessário ter as principais superfícies reflectoras interiores, tais como paredes e tectos, e as aberturas correctas com o envidraçamento pretendido. Na eventualidade do projecto ter dispositivos de sombreamento externos ou estantes de luz internas, estes também são necessários. À medida que o desenho do projecto avança, é possível ir adicionando elementos tais como mobiliário, de forma incremental, para testar que melhorias determinadas atitudes trazem ao projecto. Assim, estas simulações fornecem informação não só sobre a quantidade, uniformidade e penetração da luz, como de potenciais problemas de brilho e locais ideais para a instalação de sensores automáticos (Krygiel & Nies, 2008, pp. 160-161).

5 BIM sustentável - sistemas

Recolha de água

A maior parte do foco em desenho sustentável é voltado para a redução energética. No entanto, enquanto outros recursos que não são indispensáveis à nossa subsistência (como o petróleo) recebem bastante atenção nos media, a água que é uma fundação da própria vida é um dos recursos mais críticos e negligenciados, especialmente tendo em conta que a sua quantidade é finita. Estudos recentes (Krishnamurti, Biswas, & Wang, 2012) consideram que de modo a alcançar uma

Figura 4.11
Exemplo de uma
imagem de análise de
luz solar



urbanidade sustentável a água representa a segunda maior prioridade depois dos gastos energéticos. Langar (2013, p. 7) refere que a necessidade de sistemas de recolha tem ganho cada vez mais destaque visto que é esperado que já em 2025 dois terços da população venha a enfrentar escassez de água doce. Neste sentido, são diversas as tecnologias que nos permitem reduzir a demanda deste recurso sem sacrificar os nossos estilos de vida ou segurança. “É uma simples questão de garantir que cada gota tem um propósito” (Krygiel & Nies, 2008, p. 167).

Tanto as águas pluviais como as águas cinzentas (água de banhos, lavagens de roupa, etc) podem ser facilmente aproveitadas para irrigação (com recurso a um simples sistema de filtragem) ou até mesmo descargas (adoptando um sistema ligeiramente mais complexo). Segundo (Langar, 2013, p. 55), a implementação de sistemas de recolha pode tornar-se complexa muito rapidamente devido aos múltiplos factores associados com o edifício. No entanto, é aceite que “o BIM possui capacidades inerentes de reduzir a complexidade de tais sistemas”. Neste sentido, Krygiel e Nies (2008, pp. 168-172) referem que o BIM pode ser usado para potenciar decisões dentro do projecto com vista a torna-lo eficiente na gestão desta recolha. Com dados sobre o tempo e a quantidade anual ou mensal de pluviosidade em determinado local, complementados com as necessidades de irrigação esperadas de determinado projecto, é possível determinar quão frequentemente e em que quantidades será necessária água extra. Este tipo de informação é, regra geral, bastante estático pois a localização do projecto tem associada uma pluviosidade fixa. Por sua vez, o projecto do edifício em si é flexível e dinâmico. Assim, calculando as necessidades e medidas de conservação em fases iniciais do desenho do projecto torna-se fácil tomar decisões informadas perante as diferentes iterações do mesmo

O modelo BIM ajuda a calcular a quantidade de água da chuva que é possível capturar na cobertura do edifício. No entanto, é importante ter em conta que nem toda a área serve para este efeito (pode não ser rentável ou desejável fazê-lo em determinadas zonas). Dentro do modelo BIM é possível definir a área pretendida com linhas limite. Estas ajustam-se dinamicamente à medida que qualquer alteração é feita ao modelo. Partindo do valor total da área utilizada para a recolha (automaticamente calculado pelo software BIM), basta multiplicar pela quantidade mensal de água da chuva do local, reduzindo aproximadamente 20% que não será recolhida por diversos

motivos (evaporação, perdas na recolha, etc). Assim, rapidamente se obtêm os valores esperados, que nos informam sobre a situação do projecto e eventuais necessidades extra de água (Krygiel & Nies, 2008, pp. 172-173).

Energia

Perceber as necessidades energéticas de um edifício é essencial para ajudá-lo a ser mais sustentável. Estas necessidades dependem de um diverso conjunto de questões, pois são vários os sistemas que giram em torno destes gastos. Por exemplo, aumentar o tamanho das janelas numa fachada voltada a Sul irá resultar numa maior quantidade de luz natural, reduzindo assim as necessidades de iluminação eléctrica. No entanto, se esta medida não tiver em conta um sombreamento adequado, também irá implicar aquecimento extra, aumentando a necessidade de ar condicionado e potencialmente negando as poupanças conseguidas na iluminação (Krygiel & Nies, 2008, pp. 178-179).

Ao explorar o uso de energia num edifício, todos os assuntos relacionados devem ser tidos em conta. Factores como o aquecimento, sistemas AVAC, ganhos solares, número de ocupantes, mecanismos de sombreamento e um número de outras variáveis devem ser combinados de modo a prever as necessidades energéticas de um edifício com a finalidade de dimensionar os sistemas e componentes em conformidade. Segundo Bazjanac (2008), muitas vezes as preparações para simulação energética começam apenas quando as decisões arquitectónicas e o desenho do sistema AVAC já avançaram o suficiente de modo a representar o edifício. No entanto isto significa que o início da análise energética só tem lugar depois de algumas “decisões fundamentais, potencialmente críticas para a performance energética do edifício” já tiverem sido tomadas. Abeer (2012) refere que tradicionalmente os arquitectos se baseavam em experiências passadas e na sua intuição para tomar decisões devido à falta de uma metodologia integrada e de técnicas para a avaliação da performance dos edifícios, sendo portanto influenciados por práticas antigas que podiam ter sido tomadas sem grandes considerações por questão de sustentabilidade. No seu entender, um pensamento ecológico em arquitectura deve ser guiado pelo princípio “pensar globalmente, agir localmente” que requer uma abordagem multidisciplinar a começar pelas primeiras etapas de concepção de um edifício.

Estabelecendo uma meta energética para o edifício, podemos começar a testar o projecto preliminar de modo a optimizá-lo e proceder às mudanças adequadas. É importante perceber que a análise energética é uma ciência e os seus especialistas estudam como diferentes sistemas e cargas têm impacto umas nas outras e afectam a performance geral do edifício. Também é importante perceber o que esperar desta análise nas diferentes fases do desenho do projecto. Nas etapas iniciais, a análise tem uma função indicativa, não a de tentar medir cargas precisas. Isto porque muitas decisões que irão acontecer ao longo do processo ainda não foram tomadas e portanto não é possível determinar as suas cargas exactas. Por exemplo, na etapa conceptual, em que se irão estudar os impactos de mudanças maiores à forma do edifício, os resultados irão servir um propósito comparativo (por exemplo, se um edifício alto e estreito tem melhor performance que um baixo e largo), sem determinar os números exactos de cada um. No entanto, numa fase final em que o projecto está mais desenvolvido é possível fazer comparações em incrementos mais pequenos e precisos (Krygiel & Nies, 2008, p. 184). Ao manter o modelo energético actualizado com as opções de desenho é possível compreender como a volumetria do edifício, localização das janelas, orientação e outras opções irão afectar as necessidades energéticas, ajudando assim o arquitecto a tomar opções mais informadas.

“Reduzir o consumo de energia num edifício não tem de ser feito à custa do conforto humano. Trata-se mais de uma questão de reduzir a procura e conservar a energia que temos em vez de a usar como uma fonte inesgotável” (Krygiel & Nies, 2008, p. 180).

Para estas análises serem prolíficas é preciso um modelo BIM sólido e bem construído. Isto não significa que são necessários todos os materiais e detalhes, mas são necessárias certas condições base como as paredes e tectos. Krygiel e Nies (2008, p. 191) dão o exemplo de um projecto da autoria do seu escritório, estudando especificamente a melhor solução para uma determinada fachada. Na sua análise, procuravam perceber o impacto energético relativo que duas iterações do projecto teriam. Numa delas foi adicionado um mecanismo de sombreamento externo, e na outra não [Fig. 4.12]. Interessava saber se o sombreamento traria melhorias no ciclo de vida do edifício que justificasse o preço inicial de construção do mesmo. Como Soebarto e Williamson (2001) referem, é indisputável que recorrer a simulações de

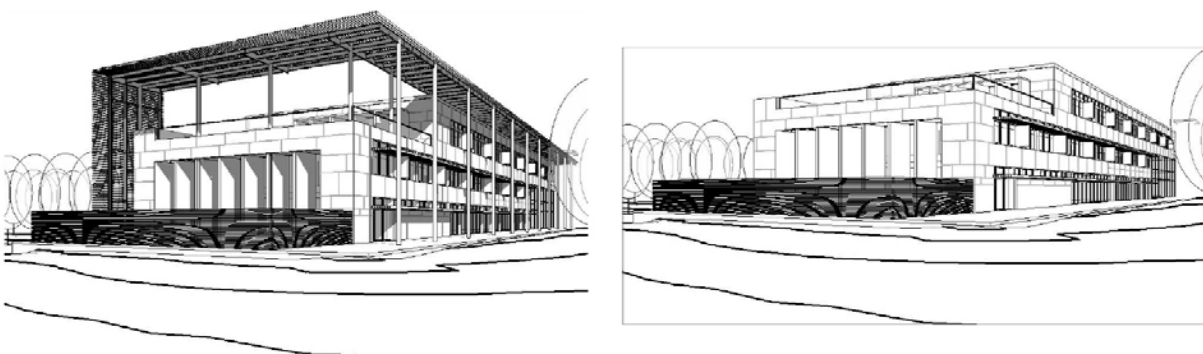
modo a estimar a performance do ciclo de vida de determinada proposta nas suas diversas formas é a “melhor prática”. Neste sentido, foram exportados ambos os modelos para um serviço de análise energética, revelando que os custos anuais do edifício seriam suficientemente reduzidos com a adição de sombreamento para justificar um maior investimento inicial (Krygiel & Nies, 2008, p. 192). Este método pode ser usado para fazer comparações em qualquer tipo de mudança no desenho do projecto e regularmente perceber se estas irão revelar-se benéficas a longo prazo ou não, se justificam o investimento inicial ou não. Tendo em conta que estudos referem que um ligeiro aumento de 2% do custo inicial de um edifício pode gerar poupanças na ordem dos 20% ao longo do seu ciclo de vida (Motawa & Carter, 2013) este tipo de abordagem que o BIM potencia torna-se altamente sustentável a longo prazo.

Energia renovável

A capacidade de usar energias renováveis comuns como a solar e eólica está directamente dependente do clima e do local. Diferentes tipologias de edifício têm necessidades energéticas drasticamente diferentes e estas mudam conforme o clima. Por exemplo, um edifício com uma implantação reduzida pode não ter área de cobertura suficientemente grande para acomodar os painéis fotovoltaicos necessários (Krygiel & Nies, 2008, pp. 193-194) e portanto torna-se necessário arranjar soluções alternativas [Fig. 4.13]. Este tipo de situações são cada vez menos um problema pois como refere Nicholson (2004) a tecnologia tem avançado ao ponto de neste momento existirem determinados componentes de edifícios que contêm células fotovoltaicas integralmente.

Noutros casos, o local pode não receber exposição solar suficiente para que compense adoptar estas estratégias. No entanto existem tecnologias de energia renovável que dependem mais do lugar do que do clima, como é o caso da

Figura 4.12
Modelo das duas
opções consideradas



hidrográfica, geotermal e biomassa. Segundo Krygiel e Nies (2008, p. 196), após terem sido investigados os potenciais sistemas de determinado local, é possível usar o modelo BIM para ajudar a calcular o potencial retorno em energia e viabilidade de cada sistema e otimizar a sua performance. Por exemplo, num sistema geotérmico, cavando alguns poços no local para extrair alguns exemplos, é possível modelar os vários substratos com base nas várias amostras de sondagem. Com esta informação é possível ajustar a localização dos poços geotérmicos de modo a falhar tipos de solo potencialmente difíceis ou apontar para tipos de solo ou recursos de água que permitam uma melhor extracção de calor do que outros.

Materiais sustentáveis

Os materiais usados na indústria AEC relacionam-se fortemente com o lugar: de onde são extraídos em bruto, onde são transformados em produtos, onde são juntos para fazer um edifício, e para onde vão depois de serem usados no edifício. Ao serem transportados entre cada uma destas fases, é-lhes associada uma pegada de carbono. A nossa capacidade de transportar materiais para qualquer parte do mundo alterou, em certa medida, a nossa noção de lugar. Naturalmente, alguns materiais ou produtos finais têm de vir de lugares distantes, pois não existem localmente. Outros, que aumentam a eficiência energética de determinado produto ou edifício, provam ser merecedores de serem transportados, visto que irão compensar a pegada de carbono gerada no seu transporte durante o seu ciclo de vida (Krygiel & Nies, 2008, pp. 201-202).



Figura 4.13
Uso de painéis fotovoltaicos no estacionamento, Santa Barbara Airport Consolidated Rental Car Maintenance and Storage Facility

Segundo Markova et al. (2013), a eficiência de um material é definida pela capacidade de reciclar, reutilizar e reduzir desperdícios que este oferece. Neste sentido, os três tipos de materiais a que devemos procurar usar num projecto são os recuperados; reciclados ou com conteúdo reciclado, e materiais locais. Naturalmente, não será possível usar apenas estes, mas é uma boa medida dar-lhes preferência. Num dos seus projectos, Krygiel e Nies (2008, pp. 204-207) decidiram explorar a substituição de uma porção (45%) do cimento Portland por cinzas volantes (resíduos produzidos pela combustão nas centrais termoelectricas a carvão). O BIM revela-se vantajoso neste processo, pois é possível criar uma programação dinâmica de materiais que se actualiza à medida que os elementos do modelo (paredes, colunas, pisos, etc) são alterados. Para além disto, é possível filtrar os elementos em betão e adicionar-lhes um parâmetro representativo do volume de cinzas volantes a utilizar. Assim, ao obter a lista de elementos em betão a serem construídos, obtemos automaticamente o volume de cinzas necessário, tanto total como por elemento.

Existem no entanto outras formas de otimizar o uso do BIM em relação aos materiais a usar em determinado projecto. Desenho sustentável não é uma medida prescritiva, é um processo criativo, que requer inovação e uma maneira de fazer concretizar o potencial de cada situação, pois uma medida de um projecto não se aplica necessariamente a outro diferente. Um outro exemplo dado por Krygiel e Nies (2008, p. 208) refere a experiencia que tiveram num projecto de um grande edificio de escritórios. O local não era urbano mas antes numas terras agrícolas com uma plataforma rochosa por baixo do solo, a diferentes alturas. Assim, recorreram a ferramentas BIM para modelarem esta plataforma, estabelecendo uma relação entre ela e os pilares estruturais do edificio. Esta relação paramétrica fez com que os pilares aumentassem ou diminuíssem de forma dinâmica, de modo a tocarem o topo a plataforma, optimizando a localização e comprimento dos pilares, poupando dinheiro e recursos.

6 Futuro das práticas sustentáveis com o BIM

Segundo Krygiel e Nies (2008, p. 211), um princípio fundamental de verdadeira sustentabilidade é a integração total dos sistemas do edifício entre si, bem como de factores económicos e ambientais externos. Quando toda a equipa é capaz de partilhar e influenciar o modelo tridimensional na tentativa avaliar o impacto do trabalho de cada um no todo, uma integração verdadeira torna-se mais real e convincente.

Na sua opinião (Krygiel & Nies, 2008, pp. 225-226), o futuro combinado do BIM e do desenho sustentável pode ajudar-nos a chegar mais depressa e de forma mais elegante a um futuro mais saudável para o planeta. É difícil saber com certeza o que o futuro aguarda, mas tendo em conta as pistas actuais, é expectável que a modelação paramétrica irá muito para lá de relação entre objectos: tanto o modelo como o arquitecto terão conhecimento da região e clima, da tipologia do edifício, valores de insolação, coeficientes de ganhos de energia solar e até mesmo os impactos socioeconómicos na zona aplicável. À medida que o edifício é modelado, avisos irão informar o arquitecto do impacto da orientação escolhida, do tamanho do sistema mecânico e o conforto dos ocupantes. A quantidade de chuva e radiação solares esperadas estarão imediatamente disponíveis para dimensionar cisternas e sistemas de energia renováveis. O futuro do modelo BIM será um sistema completamente interactivo com informação chave sobre edifícios, clima, requerimentos e impactos tal que a concepção e o retorno de informação entre todos os sistemas seja imediata e simbiótica.

5Sbífg^a V

Casos de estudo

1 Helsinki Music Centre

O Helsinki Music Centre [Fig. 5.01], localizado no centro da cidade de Helsínquia, é uma enorme sala de concertos que também serve propósitos educativos. Este edifício vem substituir a anterior sala, projectada por Alvar Aalto e construída em 1971, que apesar de ser considerado um edifício magnífico encontrava-se com problemas de acústica.

O projecto que venceu o concurso foi desenvolvido pelo escritório LPR-arkkitehdit Oy em 2000, usando métodos tradicionais. No entanto, quando o desenho preliminar foi submetido para revisão e estimativa de custos este encontrava-se significativamente acima do orçamento. Assim, teve de ser parado até 2004, quando foi revisto, desta vez adoptando a metodologia BIM. Durante a fase de desenho esquemático os antigos desenhos 2D foram convertidos para um modelo 3D que foi melhorado e refinado e que irá ser usado também para a gestão das instalações (Eastman et al., 2011, p. 542).

A necessidade de incorporar práticas sustentáveis usando o BIM tem crescido rapidamente na Finlândia, tendo sido estabelecidas directrizes gerais de

Figura 5.01
Helsinki Music Centre
Helsínquia, 2011



como utilizar esta metodologia para estimular tais práticas. Um estudo realizado em 2007 refere que o uso do BIM e aplicações compatíveis com o IFC rondava os 33%, observando que 93% dos escritórios de arquitectura já estavam a incorporar o BIM no desenvolvimento de partes dos seus projectos (Wong, Wong, & Nadeem, 2009). O principal objectivo destas iniciativas é o de reduzir o consumo energético do património existente e minimizar os impactos ambientais das novas construções. Neste sentido, desde 2001 que na Finlândia se tem trabalhado num diverso número de projectos com vista a aumentar o conhecimento da utilização do BIM. Desde então os projectos têm obrigatoriamente de cumprir os requisitos IFC com o principal objectivo de garantir que o seu custo e praticabilidade estão de acordo com os objectivos determinados (Eastman et al., 2011, p. 543). Este projecto procura assim demonstrar várias lições na forma como o BIM pode ser aplicado para obter um melhor resultado.

Durante a fase esquemática, o desenho arquitectónico foi frequentemente mudado devido aos requerimentos de uso e orçamento alvo do proprietário. Eastman (2011, p. 544) refere que a equipa de arquitectos usou o BIM para gerar o relatório de distribuição de áreas bem como o seu uso, por vezes a cada 15 minutos. Este ajudou na tomada de decisões da distribuição espacial e permitiu fazer estimativas de custo preliminares que ajudaram a acomodar assim as necessidades do proprietário.

Simulações avançadas

Dado que a informação necessária para simulações energéticas e de ciclo de vida é bastante extensiva, estas normalmente são feitas apenas nas últimas etapas do desenho de modo a validar decisões já tomadas e cumprir requisitos legais. No entanto, o uso destas simulações durante o processo de concepção possibilitou um melhor entendimento das questões energéticas, qualidade de ar, conforto térmico, ambiente visual e performance acústica do edifício. Apesar da sua complexidade, este caso de estudo demonstra que fazendo uso do modelo BIM, simulações energéticas avançadas podem ser integradas no decorrer do processo de desenho, influenciando e modificando assim vários aspectos do resultado final (Jiang & Lei, 2014).

Simulações energéticas na fase de desenho esquemático

Devido às metas energéticas restritas estabelecidas pelo proprietário, os arquitectos tiveram de abordar esta questão nas etapas iniciais. Uma parte crítica de desenvolver estas análises tão cedo é desenvolver objectivos claros de performance de modo a tirar partido dos resultados obtidos (Eastman et al., 2011, p. 546). Neste caso, as simulações foram úteis para avaliar alternativas de desenho, alcançando assim poupanças no orçamento e gastos energéticos, mantendo a mais alta qualidade acústica (Jiang & Lei, 2014).

Simulações para comparação de alternativas de desenho

O projecto foi submetido a uma comparação de dois tipos de envidraçamento para as suas paredes de vidro. Estas são uma solução bastante popular em edifícios comerciais devido ao seu aspecto aberto e benefícios de luz solar. No entanto, se os ganhos solares são ou não uma vantagem depende de múltiplos factores, incluindo as condições temporais externas e ganhos de calor interno que variam com cada caso (Jiang & Lei, 2014). Deste modo existe a necessidade de recorrer a simulações energéticas.

Os dois tipos de envidraçamento considerados foram assim comparados [Fig. 5.02] nos parâmetros aquecimento, outros e arrefecimento. “Outros” refere-se a iluminação e outras necessidades internas que são iguais em ambos os casos, pelo que o interesse encontra-se na análise dos valores de aquecimento e arrefecimento. O envidraçamento tipo 2 revelou um consumo energético associado ao aquecimento cerca de 10% menor que o tipo 1; em relação ao arrefecimento, o tipo 2 apresentou um consumo superior em aproximadamente 20%, devido ao seu maior ganho de calor solar. No entanto, dado que em Helsínquia o período em que é necessário usar aquecimento é muito maior do que aquele em que é preciso arrefecer o edifício, o

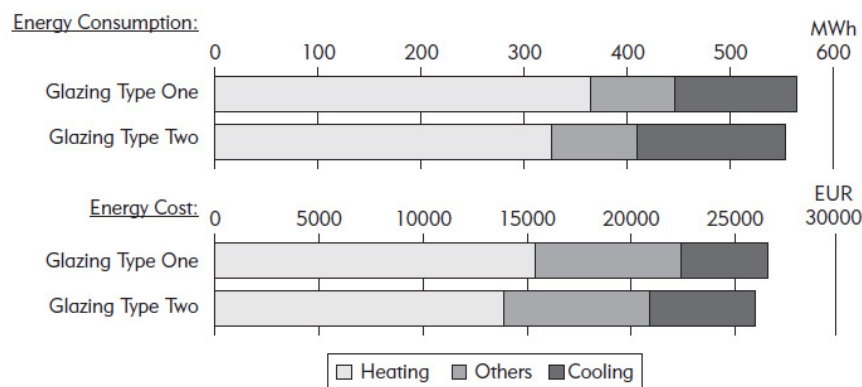


Figura 5.02
Comparação dos resultados
de análises feitos nos dois
tipos de envidraçamento

envidraçamento tipo 2 representa uma melhor performance anual de consumo energético (Eastman et al., 2011, p. 548).

Análise de ciclo de vida

A análise do ciclo de vida de um edifício é um método poderoso para avaliar e comparar alternativas de desenho de um ponto de vista ecológico. Este requer um determinado conjunto de valores, por exemplo os custos de construção, operação e manutenção do edifício, os seus gastos energéticos, consumo de água, sistemas técnicos, equipamento, etc. Com uma ferramenta correctamente concebida e implementada, as equipas de arquitectos podem assim tomar decisões durante todas as fases da vida do edifício, desde a fase conceptual à sua construção e gestão. De forma semelhante ao processo de estimativa de custos, estas medidas serão refinadas com o tempo. Actualmente, a maior partes destas análises do ciclo de vida usam desenhos 2D e informação introduzida manualmente. São bastante demoradas, muitas vezes feitas apenas na fase final do processo de desenho do edifício ou quando este já se encontra construído (Eastman et al., 2011, p. 549). No entanto, o BIM fornece aos arquitectos e engenheiros informação que ajuda a integrar facilmente esta análise desde as etapas iniciais do desenho, como foi o caso deste edifício

Figura 5.03
Distribuição da
temperatura do ar no
foyer

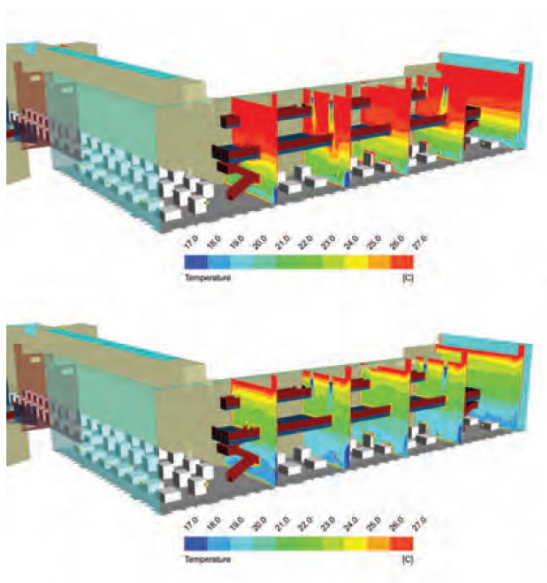
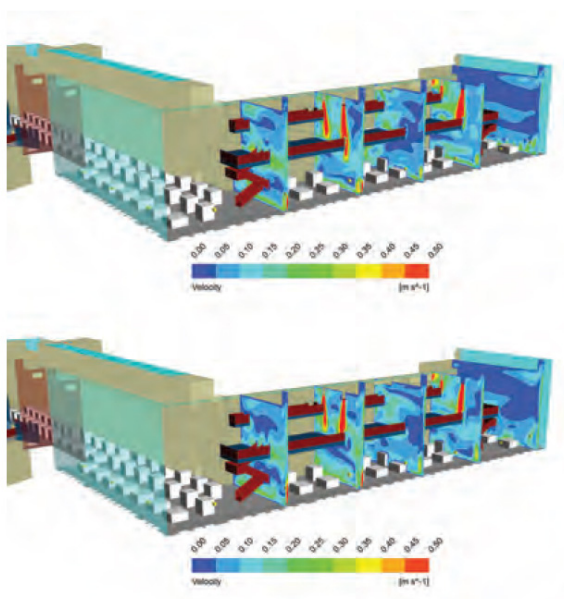


Figura 5.04
Distribuição da velocidade
do ar no foyer



Simulação para desenho de ambiente interno

O cálculo da dinâmica de fluidos computacional, enquanto método de modelação de fluxo de ar mais sofisticado que existe, consegue prever simultaneamente o fluxo de ar e transferência de calor dentro e em volta de edifícios. Estes aspectos podem ser usados para avaliar os níveis de conforto térmico, qualidade de ar e eficiência energética de sistemas do edifício, revelando-se assim importante para arquitectos e engenheiros AVAC. A forma ideal de usar esta simulação é permitindo que ela assista colaborativamente durante a fase de refinamento do projecto em direcção à proposta final. Esta pode ser usada não só como justificação ou confirmação das medidas tomadas mas também para moldar o próprio desenho com informação útil (Eastman et al., 2011, pp. 550-551). Embora esta simulação seja tradicionalmente complexa e custosa, com o BIM é possível diminuir bastante a quantidade de trabalho que ela necessita, tornando-a assim mais acessível

No caso do Helsinki Music Centre, esta simulação foi usada para a optimização do sistema AVAC, em particular no foyer que sendo uma área grande e aberta parecia necessitar de um sistema demasiado grande que não só consumiria energia excessiva como resultaria em desconforto humano. A configuração inicial tinha demasiado calor nos níveis superiores, tendo sido revista [Fig. 5.03]. Para além disto, esta simulação foi também utilizada para otimizar o sistema AVAC, reduzindo a sua dimensão em cerca de 20% com poucas implicações na distribuição do fluxo de ar [Fig. 5.04] (Eastman et al., 2011, p. 552).

Combinação de modelos para detecção de conflitos



Figura 5.05
Modelo combinado para
detecção de conflitos

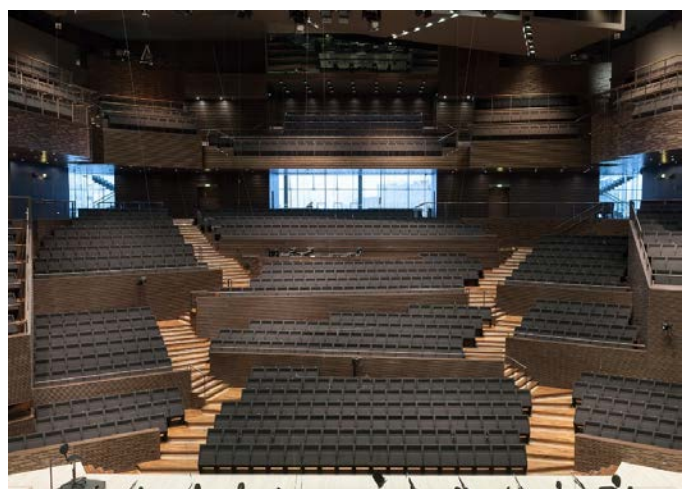


Figura 5.06
Resultado final

Existem diversas ferramentas especializadas para os diferentes tipos de sistema do edifício. Isto significa que na maior parte das situações o modelo não é desenvolvido todo na mesma ferramenta e necessita de recorrer à importação/exportação de ficheiros no formato IFC. Neste caso, o engenheiro de eléctrica e o de AVAC trabalharam no mesmo *software*, pelo que a detecção de conflitos entre estes dois sistemas foi feita no decorrer do processo (Eastman et al., 2011, p. 554). No entanto, os restantes sistemas tiveram de ser verificados no modelo combinado [Fig. 5.05], garantindo assim a sua integridade.

2 Biblioteca Central de Manchester (remodelação)

Dado que o BIM é normalmente associado exclusivamente à concepção de novos projectos, tem particular interesse explorar a sua aplicação na remodelação de um edifício existente e perceber as suas potencialidades. É este o caso da Biblioteca Central de Manchester [Fig. 5.07], cuja remodelação foi acompanhada ao longo de três anos, entre 2011 e 2014, em particular de modo a perceber o impacto da metodologia BIM no processo. Lane (2012) refere que tratando-se de um projecto público de remodelação, a aplicação do BIM o torna em certa medida ainda mais complexo do que num projecto começado do zero, sendo portanto um bom teste às capacidades a metodologia BIM. Por sua vez, o governo do Reino Unido encontrou-se bastante aberto a esta possibilidade porque estimou poupanças na ordem dos 5% em outros projectos já concluídos devido à coordenação de informação e detecção de conflitos facilitada pelo BIM. Inclusive, foi por este motivo que em 2012 o Ministro da Justiça, convencido dos benefícios desta metodologia, decidiu tornar a sua aplicação obrigatória em projectos do sector público até 2016.

Construído em 1934, o edifício da Biblioteca Central de Manchester foi claramente inspirado no Panteão de Roma. Segundo Ijeh (2014), foi baseado no sistema bibliotecário Americano no qual a maior parte dos livros (70% neste caso) estão escondidos e têm de ser solicitados a um funcionário. Dado que o sistema do Reino Unido é diferente e os livros estão naturalmente expostos, permitindo aos visitantes procurar livremente o que procuram, o escritório de arquitectos responsável pelo projecto de remodelação (Ryder Architecture) decidiu inverter a relação de livros escondidos/à vista de 70/30% para 30/70%.



Figura 5.07
Biblioteca Central de Manchester

Para além desta questão a Ryder teve também de resolver o problema da circulação. Ijeh (2014) diz que a biblioteca era um “intrincado emaranhado de escadas, salas e corredores distribuídos por vários pisos”, agravado pelo facto de se tratar de um edifício em configuração radial. Não havia um núcleo de circulação vertical [Fig. 5.08] único através dos seus seis pisos, limitando assim a acessibilidade e facilidade de encontrar o que se procura.

O cliente

O município de Manchester acreditava que o uso do BIM seria benéfico pois tivera experiências passadas positivas, nas quais se incluem um projecto habitacional e uma escola. Segundo o município, o investimento que fez no projecto habitacional já tinha tido um retorno na forma de menos resíduos e um melhor produto final. John Lorimer, director do programa capital do município, disse a Lane (2011) que usaram o BIM porque acreditam “que assim que o edifício estiver terminado e recebermos o modelo conseguiremos geri-lo melhor ao longo da sua vida. Para nós esse é o verdadeiro ganho”. Lorimer acreditava também que o uso do BIM ajudará todos a compreenderem completamente o projecto e fornecer níveis de certeza maiores no local de construção, reduzindo o risco do projecto ultrapassar o orçamento. No caso

Figura 5.08
Secção no modelo BIM e
novo núcleo de circulação
vertical



deste trabalho o uso do BIM não foi uma condição contratual, no entanto a sua aplicação representou uma vantagem ao ir de encontro com os valores do município que incluem métodos de trabalho inovadores.

Quando um a mais tarde Lane (2012) voltou à biblioteca, John Lorimer referiu que a fase de construção tinha corrido bastante bem devido à integração do modelo BIM. Este foi também usado para planear tarefas futuras, dando assim confiança às entidades envolvidas de que os objectivos propostos podiam ser alcançados, tornando a remodelação menos arriscada. O modelo ajudou ainda a poupar tempo tanto ao ter demonstrando diversos conflitos entre trabalhos permanentes e temporários como para reduzir a complexidade do núcleo de circulação vertical.

BIM neste projecto

Antes do projecto começar foi necessário proceder a um levantamento da biblioteca. A Ryder convenceu o município a fazer um levantamento 3D usando lasers de modo a poder importar o modelo para um *software* de modelação 3D. Apesar do levantamento 3D implicar um custo adicional superior em aproximadamente 4 mil libras quando comparado com um levantamento convencional, este fornece bastante mais informação. Cada membro da equipa tem domínio do seu modelo, podendo consultar os restantes como referência externa, que são actualizados regularmente de modo a garantir que não existem conflitos (Lane, 2011).

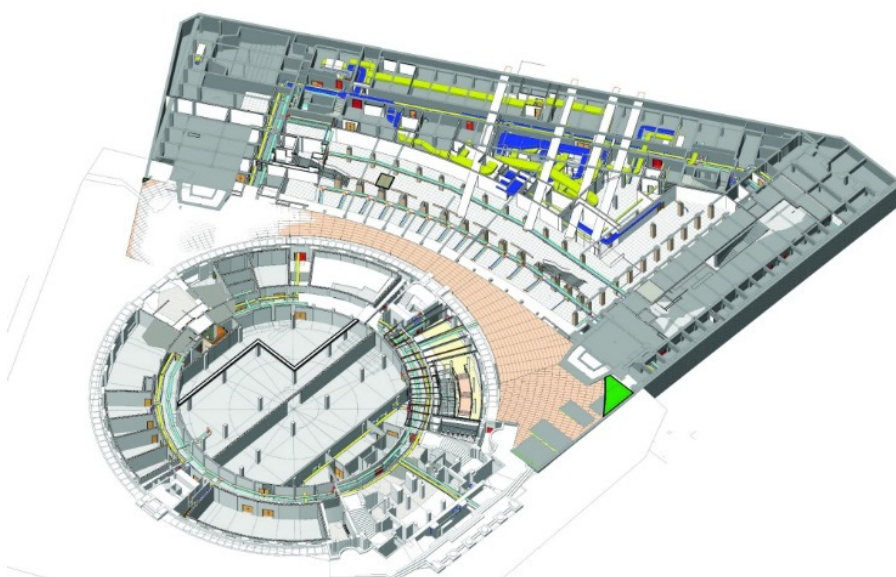


Figura 5.09
Visualização de um piso no
modelo BIM

Dado que o edifício da biblioteca está listado e é portanto protegido, foi necessário manter o máximo de características originais possível. Como todas as intervenções tiveram de ser aprovadas pela English Heritage (órgão público que promove e defende o património histórico de Inglaterra) isto tornou o processo naturalmente mais complexo e inclusive implicou que todos os materiais fossem introduzidos no edifício através de uma janela (Lane, 2012)

Gestor de projecto

O gestor de projecto Paul Mulcachey (Lane, 2011) descreveu este edifício como um “palco”, dado que os acabamentos aparentemente tradicionais escondem métodos construtivos modernos (os painéis de madeira escondem uma estrutura metálica; as colunas de mármore são ocas e abrigam ductos de ventilação, etc). Neste sentido, e dada a complexidade do trabalho, aconselhou o município a recorrer ao BIM pois torna-se mais fácil entender o edifício e os desafios de trabalhar num local apertado no centro da cidade. Para além disto, ao promover um trabalho de equipa mais eficiente e que tem acesso a visualizações 3D facilmente compreensíveis torna-se mais fácil a auditoria a mudanças no projecto.

Arquitecto

De acordo com Lane (2011), a Ryder considera que trabalhar colaborativamente num ambiente BIM era o passo natural a seguir a trabalhar em 3D. O seu trabalho começou por ser baseado no levantamento a laser, que outros consultores também usaram para integrar o projecto de arquitectura com a mecânica, eléctrica, estrutura, detecção de conflitos, programação, fluxo pedestre e modelação solar e termal. Ian Kennedy, chefe na Ryder diz que “outro benefício de ter um modelo único e integrado é o de realizar as reuniões de projecto em seu torno, de modo que toda a gente tem uma clara compreensão daquilo que se está a falar”. Um ano mais tarde o arquitecto Lee Tylor (Lane, 2012) referiu que o BIM foi também útil para demonstrar intenções de desenho, o que facilitou as discussões com a English Heritage. Para além disto também ajudou os arquitectos a perceber melhor as questões de trabalhos temporários, uma área na qual “tradicionalmente não se envolveriam”.

Engenheiro de estruturas

O facto de a biblioteca ter sido desenhada a pensar no sistema bibliotecário americano trouxe complicações estruturais à sua remodelação. Dado que o edifício precisava de muitas estantes de livros escondidas, estas não só foram colocadas em quatro níveis debaixo da sala de leitura central como acabaram por cumprir uma função estrutural de suportar parte do peso dos pisos superiores (Ijeh, 2014).

Ao usar o modelo tridimensional com as opções estruturais tomadas, o engenheiro de estruturas esperou encontrar menos surpresas no local de construção. Ao contrário de métodos exclusivamente 2D, onde existe uma tendência de disfarçar pormenores e resolver no local, o uso do BIM implica que toda a equipa seja obrigada a pensar nos detalhes, desenvolvendo mais o projecto e não correndo o risco de deixar equipas muito grandes à espera enquanto alguma falha é resolvida (Lane, 2011).

Um ano depois, o engenheiro de estruturas Jim McNally refere que “ocorreram menos imprevistos e foram necessárias menos visitas ao local do que seria de esperar num edifício deste tipo” (Lane, 2012). Assim, as estantes foram substituídas por uma estrutura metálica e o espaço que ocupavam tornou-se num misto de zona de recepção, leitura e circulação (Ijeh, 2014).

Engenheiro de mecânica e eléctrica

Dado que todos os serviços da biblioteca tiveram de ser substituídos, a dificuldade deste trabalho passou por introduzir serviços complexos e sofisticados

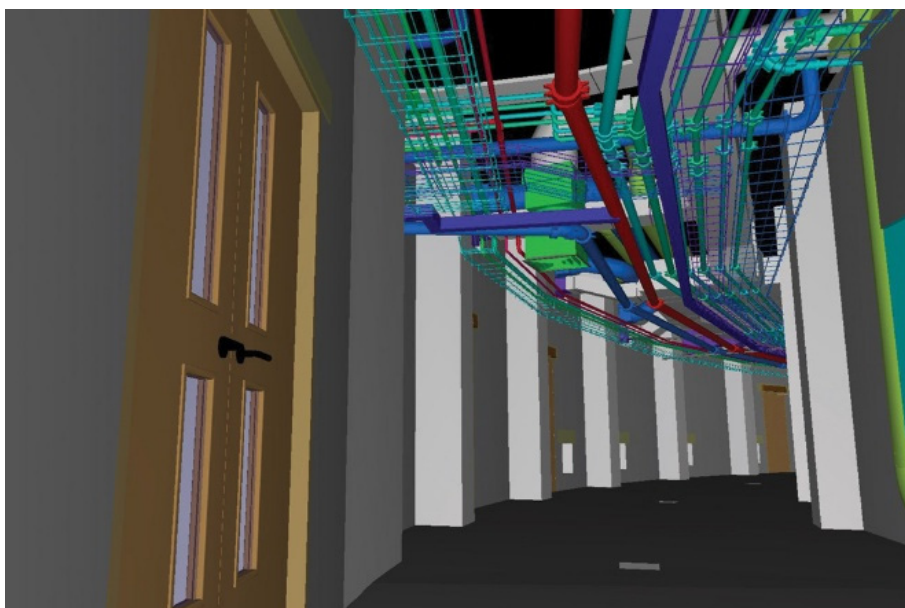


Figura 5.10
Serviços no topo do
corredor representados no
modelo BIM

num edifício antigo. Para tal foi necessário usar tanto o modelo do arquitecto como o do engenheiro de estruturas e conjuga-los com os levantamentos originais (visto que laser não consegue medir os vazios de serviço) (Lane, 2011). Neste sentido o BIM revelou-se útil para simplificar o desenho e efectuar ajustes onde o edifício difere das expectativas originais. Alan Garbutt (Lane, 2014), director de construção do município de Manchester refere que os serviços “estavam amontoados em pequenos espaços, tornando o BIM inestimável para a sua montagem de forma eficiente e decisão do sequenciamento de construção”. Como a prefabricação foi excluída (devido ao espaço limitado para introduzir elementos no edifício) o BIM foi antes usado para gerar listas de corte de modo às tubagens chegarem com as dimensões certas e identificações para onde têm de ir. Para além disto o modelo demonstrou ainda que dada a elevada densidade de serviços no topo dos corredores [Fig. 5.10] fez mais sentido pintar estas áreas antes da instalações dos serviços em vez de depois (Ijeh, 2014).

O engenheiro ambiental chefe responsável por este projecto, Robert Ferry explica que as vantagens de usar o BIM são bastante evidentes: ao visualizar o ambiente 3D, melhora-se a coordenação e a detecção de conflitos. “O maior problema que surge sempre são os conflitos no local. Francamente, o BIM tem feito os problemas a nível do local de construção desaparecerem” (Lane, 2011). Para além disto, é possível conferir atributos aos itens do modelo, o que significa que carregando num botão pode gerar-se uma lista dos mesmos, facilitando a encomenda de equipamento.

Empreiteiro

A Laing O’Rourke já tinha experiência com o BIM, pois trabalhou com esta metodologia no Terminal 5 do Aeroporto de Heathrow. Neste caso deu uso aos modelos dos consultantes, verificando áreas críticas no local. Construir o projecto virtualmente significa que a maioria dos problemas que poderiam aparecer no local de construção são eliminados e o trabalho é menos provável que leve a derrapagens de custos. De acordo com o gestor de projecto, Simon Lane, ao dar ao pessoal uma melhor compreensão do trabalho, mais detalhado pode ser o modelo a enviar para a estimativa de custos, reduzindo o risco associado e poupando dinheiro. Para tal, criaram pequenos modelos de trabalhos temporários para demonstrar à English

Heritage como iriam proceder, usando *software* específico para agendar o trabalho e as equipas, garantindo que os trabalhadores não se atrapalhem uns aos outros (Lane, 2011). A complexidade do novo núcleo de circulação implicou a introdução de novas colunas e a remoção de estruturas existentes [Fig 5.11] bem como a necessidade de cortes nas lajes. Graham Fenton diz que aplicar o BIM a esta remodelação acabou por se revelar uma mais-valia na demonstração e justificação da necessidade de alterações pois “tentar explicar isto bidimensionalmente à English Heritage era praticamente impossível” (Ijeh, 2014).



Figura 5.11
Estrutura do novo núcleo de
circulação, visualização do
modelo BIM

BIM para lá do edifício: infra-estrutura

Através do uso do BIM, somos capazes de partir de um sistema de documentação fragmentado e inerentemente pouco inteligente para um centralizado e capaz de analisar parametricamente a informação quase instantaneamente. Segundo Krygiel e Nies (2008, p. 210), no sistema tradicional os desenhos individuais e as linhas não têm qualquer valor senão na forma impressa. Por outro lado, com o BIM, o conhecimento pode estar interligado entre objectos dentro dos elementos modelados, permitindo que os membros da equipa sejam simultaneamente especializados e integrados.

Agora que esta metodologia já provou aquilo que é capaz em edifícios, surge a questão: é possível aplica-la a uma escala maior, para lá do edifício, a ruas, bairros, cidades? Khemlani (2015) refere que não se trata de usar as mesmas ferramentas para conceber um edifício aplicadas a uma infra-estrutura maior – os componentes, apesar de coincidirem em certa medida, são bastante diferentes. A questão refere-se à aplicação da metodologia num sentido total, o conceito de modelar com informação, onde os componentes que fazem a infra-estrutura de uma cidade sejam representados por modelos tridimensionais ricos em dados, que contenham informação sobre eles próprios bem como a relação com os outros componentes.

Se imaginarmos o mesmo conceito BIM que já está em prática no projecto de edifícios, aplicado à infra-estrutura, obtemos um modelo tridimensional inteligente de cada cidade, que represente todas as suas redes de transporte, serviços públicos, zonas, espaços abertos, edifícios e quaisquer outros componentes, todos relacionados. Se, por exemplo, seleccionássemos uma rua, poderíamos saber imediatamente onde está localizada, quais os serviços públicos à superfície e subterrâneos que a intersectam, a que ruas se liga, quais os edifícios localizados em cada margem da rua, e qualquer outro tipo de informação que quiséssemos saber. O poder que um modelo destes teria, não só em facilitar o vasto número de tarefas de planeamento da cidade que precisam ser feitas continuamente, mas também na previsão de desastres (seria possível analisar o modelo para determinar que impacto um terramoto ou um furacão teriam em determinada zona, e melhor preparar para essa situação, por exemplo) seria tão grande que se tornaria no derradeiro modelo de cidade (Khemlani, 2015). Sem dúvida que neste momento esta é uma visão algo

utópica, no entanto, dado que já temos desenvolvido o conceito e a tecnologia para aplicar informação num, não é assim tão rebuscado pensar que eventualmente poderemos ser capazes de aplicar estas mesmas medidas a uma escala ainda maior.

Considerações finais

Esta dissertação procurou investigar a aplicabilidade da metodologia BIM no processo de projecto. Para tal houve a necessidade de entender, numa primeira parte, como a tecnologia evoluiu desde os primeiros avanços na ciência da computação até aos nossos dias, mudando o panorama contemporâneo da representação arquitectónica. Dado que não se está a falar de um produto mas antes de um processo, e tendo em conta este implicou contínuas descobertas ao longo dos anos, a conclusão a que se chega é a de que muito à imagem do processo de trabalho do arquitecto, também a metodologia BIM é o resultado do sucessivo refinamento de várias ideias ao longo do tempo.

A segunda parte identificou o estado da arte da forma como actualmente a arquitectura é projectada e construída. Os principais modelos que a indústria AEC utiliza têm os seus pontos fortes claramente evidenciados. No entanto, tendo em conta o aumento de especialização e complexidade a que os edifícios foram sujeitos nas últimas décadas, estes modelos acabaram por se revelar algo ineficientes, dado que são propícios a erros e omissões.

Considerando as questões contemporâneas da indústria AEC identificadas na segunda parte e as ideias que deram origem ao BIM exploradas na primeira, podemos concluir que existe nesta metodologia potencialidades que interessam explorar. Visto que a partilha de informação entre os diferentes profissionais da indústria através de meios exclusivamente 2D é causadora de imprevistos, existe cada vez mais uma necessidade de um método integrado (que pode estar na origem da crescente popularidade do BIM). Como referem Krygiel e Nies (2008, p. 211), o processo de desenho tradicional é hoje em dia extremamente desperdiçador visto que na sua génese representa o acto de transformar uma visão tridimensional (o projecto) através de uma abstracção bidimensional (o conjunto de desenhos), que resulta na realidade tridimensional (o edifício).

Dado que a arquitectura é influenciada pelas diferentes épocas, as suas ideias e os métodos de representação que a definem, é natural que a altura em que vivemos, tão dependente da constante partilha de informação por meios digitais, seja também um factor crucial na redefinição do papel do arquitecto. Embora em certos aspectos esta metodologia represente uma ruptura com os processos tradicionais, parece-me

que se apresenta à disposição do arquitecto com flexibilidade, como uma ferramenta auxiliar e não uma limitação. Naturalmente, os benefícios do uso de um modelo BIM são tanto maiores, quanto mais detalhada for a informação nele contida. No entanto esta forma de trabalhar não está refém de um corte completo com os métodos tradicionais. É perfeitamente natural que a sua adopção seja também ela um processo gradual, fazendo uso simultâneo de desenhos bidimensionais e tridimensionais, conforme as necessidades de cada situação.

A terceira parte explora assim questões mais específicas da aplicação desta metodologia no processo de projecto, tanto do ponto de vista do arquitecto como de outros especialistas da indústria AEC. Ultimamente, uma grande parte do tempo dos arquitectos tem sido relegada para a coordenação da informação e a gestão de mudanças no projecto em detrimento da exploração das suas características e qualidades. No entanto, dado que com uma ferramenta BIM as alterações são automaticamente actualizadas, podemos concluir que o arquitecto consegue economizar tempo, podendo focar-se na arquitectura propriamente dita. Assim, é proporcionado arquitecto e aos outros especialistas a capacidade de testar mais iterações do projecto para um maior conjunto de diferentes tipos de simulações e análises, providenciando dados úteis que o ajudam a tomar decisões mais informadas. Naturalmente, o BIM não substitui o arquitecto (nem o pretende). A experiência e criatividade continuam a ser factores cruciais na prática de arquitectura e na busca de melhores soluções. Como referem Krygiel e Nies (2008, p. 210), “o BIM não será a solução em si mesma. A solução continuará a depender da nossa capacidade de usar a ferramenta na sua maior vantagem”

A conclusão que se retira do estudo destas aplicações é a de que o BIM demonstra ter condições de ser integrado no processo de projecto, permitindo o desempenho das actividades que o arquitecto requer e potenciando-as através de um processo que deixa menos espaço para inconsistências. No entanto, dado que a sua adopção a nível geral é relativamente recente e implica um investimento em termos educativos e monetários, é compreensível que não tenha havido uma completa ruptura com os métodos tradicionais.

Tendo em conta a conclusão de que a metodologia BIM pode potenciar o desempenho do processo de projecto como o conhecemos, é apenas natural que esta

seja explorada para ir mais além. Assim, tendo em conta a consciência ecológica cada vez maior em que vivemos, a quarta parte explora as questões de sustentabilidade na indústria da construção. Alguns dos problemas actuais são fruto de questões históricas como a primazia pelo menor custo inicial dos projectos, independentemente do seu consumo energético. Estas só podem ser mudadas com o tempo, à medida que a mentalidade e a consciência global se altera. No entanto, existem factores que dependem da metodologia do próprio processo de projecto. Um destes factores tem a ver com a necessidade de criar modelos específicos para proceder a simulações e análises de performance. Num processo tradicional, este modelo é exclusivamente concebido para esta função, implicando custos adicionais e normalmente sendo desempenhado numa etapa demasiado tardia para implicar alterações circunstanciais. Por sua vez, a metodologia BIM resolve esta questão por defeito, com o recurso ao modelo tridimensional, podendo integra-la bastante mais cedo no processo. A conclusão que se retira é a de que a o BIM faculta um processo no qual a sustentabilidade não tem de ser um obstáculo, mas não existem medidas prescritivas que a garantam.

Miettinen e Paavola (2014) dizem que novas tecnologias são naturalmente orientadas para o futuro e tentam mudar a realidade, melhorar as práticas existentes e criar novas oportunidades. O seu potencial é expresso em visões das vantagens que serão alcançadas quando tais tecnologias estiverem completamente implementadas, aquilo que Howard e Björk (2008) chamam de “objectivos idealistas”. Borup et al. (2006) considera que estas visões tecnológicas são abstracções orientadas para o futuro, tendem a transformar as potencialidades tecnológicas numa pintura ideal da realidade futura enquanto simultaneamente ignoram muitas das condições e restrições que a realidade irá complicar e atrasar no alcance desta visão. Em particular, refere que estas visões tendem a não incluir aspectos sociais e humanos na implementação da tecnologia. Neste sentido, a quinta parte desta dissertação funciona como uma espécie de prova construída e documentada daquilo que a metodologia já é capaz de proporcionar, no presente. Não deixa de ser projectada uma perspectiva daquilo que poderá ser o futuro onde esta metodologia se torna ainda mais adoptada, mas são vários os assuntos discutidos ao longo de toda a tese que são demonstrando através de diversas maneiras como o seu potencial já pode ser alcançado.

Como conclusão final entende-se que assim como não existe uma medida prescritiva para um desenho sustentável de edifícios, também não existem medidas prescritivas para a adopção da metodologia BIM. As suas potencialidades são cada vez maiores mas a sua adopção deve ser como a de qualquer outra ferramenta às ordens do arquitecto: com um objectivo claro e não com uma finalidade em si mesma; ao serviço do arquitecto e da sua criatividade pois é ele quem tem a palavra final no processo de projecto.

Referências bibliográficas

- Abdelmohsen, S., Lee, J.-K., & Eastman, C. (2011). Automated Cost Analysis of Concept Design BIM Models. *Designing Together: CAAD Futures*, 403-418.
- Abeer, S. Y. M. (2012). Sustainable Design and Construction: New Approaches Towards Sustainable Manufacturing.
- Ambrose, M. A. (2006). *Plan is Dead: to BIM or not to BIM, that is the question*. Paper presented at the Computing in Architecture/Re-Thinking the Discourse: The Second International Conference of the Arab Society for Computer Aided Architectural Design (ASCAAD 2006), Sharjah, United Arab Emirates, April.
- Ambrose, M. A. (2009). *BIM and comprehensive design studio education*. Paper presented at the Proceedings of the 14th International Conference on Computer Aided Architectural Design Research in Asia/Yunlin (Taiwan).
- Araújo, L., & Andrés, R. (2011). *BIM. BON. A BIM system for architectural practice in Brazil*. Paper presented at the 29th eCAADe.
- Arnold, J. (2002). High hopes for hi-tech. *BBC News Online*. Retrieved from <http://news.bbc.co.uk/2/hi/business/2522537.stm>
- Bazjanac, V. (2008). IFC BIM-based methodology for semi-automated building energy performance simulation. *Lawrence Berkeley National Laboratory*.
- Bennadji, A., Ahriz, H., & Alastair, P. (2004). *Computer Aided Sustainable Design*. Paper presented at the 1st ASCAAD International Conference, e-Design in Architecture, KFUPM, Dhahran, Saudi Arabia.
- Bergin, M. (2011). History of BIM. from <http://www.architectureresearchlab.com/ar/2011/08/21/bim-history/>
- Borup, M., Brown, N., Konrad, K., & Van Lente, H. (2006). The sociology of expectations in science and technology. *Technology analysis & strategic management*, 18(3-4), 285-298.

- Commission, B. (1987). Our common future: Report of the World Commission on Environment and Development. *UN Documents Gathering a Body of Global Agreements*.
- Day, M. (2002, Setembro). Intelligent Architectural Modeling. *AEC Magazine*.
- Day, M. (2005, 18 Novembro). BIM and the Freedom Tower. *AEC Magazine*.
- de ANDRADE, M. L. V. X., & Ruschel, R. C. (2010). Interoperabilidade de aplicativos BIM usados em arquitetura por meio do formato IFC. *Gestão & tecnologia de projetos*, 4(2), p. 76-111.
- Eastman, C., & Henrion, M. (1977). *Glide: a language for design information systems*. Paper presented at the ACM SIGGRAPH Computer Graphics.
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2011). *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors* (2 ed.). New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Edwards, L., & Torcellini, P. A. (2002). *A literature review of the effects of natural light on building occupants*: National Renewable Energy Laboratory Golden, CO.
- Engelbart, D. C. (1962). Augmenting Human Intellect. from <http://www.dougenelbart.org/pubs/augment-3906.html>
- Evans, R., Haryott, R., Haste, N., & Jones, A. (2004). The long-term costs of owning and using buildings. *Designing Better Buildings: Quality and Value in the Built Environment*, 42.
- Fitch, J. (1964). Science Reporter: Computer Sketchpad.
- Hayles, C. S., & Holdsworth, S. E. (2008). Curriculum change for sustainability. *Journal for Education in the Built Environment*, 3(1), 25-48.
- Hermund, A. (2009). Building information modeling in the architectural design phases: And why compulsory BIM can provoke distress among architects. *eCAADe 2009*, 75-81.

- Howard, R., & Björk, B.-C. (2008). Building information modelling–Experts’ views on standardisation and industry deployment. *Advanced Engineering Informatics*, 22(2), 271-280.
- Hubers, H. (2010). Collaborative parametric BIM.
- Hughes, W. P., Ancell, D., Gruneberg, S., & Hirst, L. (2004). Exposing the myth of the 1: 5: 200 ratio relating initial cost, maintenance and staffing costs of office buildings.
- Ijeh, I. (2014). Manchester Central Library: A modern classic. from <http://www.building.co.uk/manchester-central-library-a-modern-classic/5067392.article>
- Ijeh, I. (2015). BIM: Early adopters. from <http://www.building.co.uk/communities/construction/bim/bim-early-adopters/5074871.article#>
- Institute, R. M. (1988). E-Source, Lighting Technology Atlas.
- Jernigan, F. E. (2008). *BIG BIM little bim* (2 ed.). Maryland: 4Site Press.
- Jiang, S., & Lei, W. (2014). *The Application of BIM in Green Building Energy Saving: Take Helsinki Music Center as an Example*. Paper presented at the Advanced Materials Research.
- Khemlani, L. (2015). Extending BIM to Infrastructure. from <http://www.aecbytes.com/buildingthefuture/2014/BIMforInfrastructure.html>
- Kolarevic, B. (2003). *Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing*. New York: Spon Press.
- Krishnamurti, R., Biswas, T., & Wang, T.-H. (2012). Modeling water use for sustainable urban design *Digital Urban Modeling and Simulation* (pp. 138-155): Springer.
- Krygiel, E., & Nies, B. (2008). *Green BIM: Successful Sustainable Design with Building Information Modeling*. Indiana: Wiley Publishing, Inc.
- Lacerda, N. (2013). Modelo permite gerir projetos de construção sem derrapagens orçamentais.
- Laiserin, J. (2008). [Prólogo]. In C: Eastman, P.Teicholz, R. Sacks, & K. Liston *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling*

for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors (1 ed.).
New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

- Lane, T. (2011). BIM: The inside story. from
<http://www.building.co.uk/buildings/bim-the-inside-story/5021676.article>
- Lane, T. (2012). BIM: The inside story one year on. from
<http://www.building.co.uk/bim-the-inside-story-one-year-on/5039413.article>
- Lane, T. (2014). BIM: The inside story three years on. from
<http://www.building.co.uk/bim-the-inside-story-three-years-on/5067694.article>
- Langar, S. (2013). The Role of Building Information Modeling (BIM) in the implementation of Rainwater Harvesting Technologies and Strategies (RwHTS).
- Larsen, K. E., Lattke, F., Ott, S., & Winter, S. (2011). Surveying and digital workflow in energy performance retrofit projects using prefabricated elements. *Automation in construction*, 20(8), 999-1011.
- Lawson, B. (2006). *How designers think: the design process demystified*: Routledge.
- Markova, S., Dieckmann, A., & Russel, P. (2013). *Custom IFC material extension*. Paper presented at the Conference on Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA 2013).
- McCullagh, G. G. (2012). [Prefácio]. In K. P. Reddy *BIM for Building Owners and Developers: Making a Business Case for Using BIM on Projects*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Miettinen, R., & Paavola, S. (2014). Beyond the BIM utopia: Approaches to the development and implementation of building information modeling. *Automation in construction*, 43, 84-91.
- Morrow, B. H., & Price, V. B. (1997). *Anasazi architecture and American design*: UNM Press.
- Motawa, I., & Carter, K. (2013). Sustainable BIM-based evaluation of buildings. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 74, 419-428.

- Moura, E. S. (2015). "Os arquitetos vão ter de construir uma nova disciplina". *RTP*. Retrieved from http://www.rtp.pt/noticias/cultura/os-arquitetos-vaio-ter-de-construir-uma-nova-disciplina-souto-de-moura_n845459
- Nicholson, L. A. (2004). *Integrating Sustainable Building Design and Construction Principles into Engineering Technology and Construction Management Curricula*. Paper presented at the ASEE Annual Conference, American Society for Engineering Education. Retrieved Aug.
- Onuma, K. (2008). [Prefácio]. In F. E. Jernigan *BIG BIM little bim* (2 ed.). Maryland: 4Site Press.
- Pedroto, M., & Martins, J. P. (2012). *Pesquisa Estruturada e Manipulada de Informação no Modelo IFC. Requisitos e Soluções*. Paper presented at the 4º Congresso Nacional da Construção.
- Pontes, M. M., & Menezes, A. M. (2012). *BIM e o ensino: possibilidades na instrumentação e no projeto*. Paper presented at the XVI Congresso da Sociedade Iberoamericana de Gráfica Digital, Fortaleza: Expressão Gráfica e Editora.
- Reddy, K. P. (2012). *BIM for Building Owners and Developers: Making a Business Case for Using BIM on Projects*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Rojas, E. M., & Aramvarekul, P. (2003). Is construction labor productivity really declining? *Journal of Construction Engineering and Management*, 129(1), 41-46.
- Schoch, O., & Russell, P. (2008). Kanban as a Supporting Tool for the SUSTAINABLE Design and Operation of Smart Buildings.
- Schumacher, P. (2008). Parametricism as Style - Parametricist Manifesto. from <http://www.patrikschumacher.com/Texts/Parametricism%20as%20Style.htm>
- Schumacher, P. (2009). Parametricism: A new global style for architecture and urban design. *Architectural Design*, 79(4), 14-23.
- Soebarto, V., & Williamson, T. (2001). Multi-criteria assessment of building performance: theory and implementation. *Building and Environment*, 36(6), 681-690.

Sutherland, I. E. (2003). Sketchpad: A man-machine graphical communication system *Technical Report*. Cambridge: Cambridge University.

Sydenstricker, L. (1992). On-demand hot water system: Google Patents.

Wong, A., Wong, F. K., & Nadeem, A. (2009). Comparative roles of major stakeholders for the implementation of BIM in various countries. *Hong Kong Polytechnic University*.

Créditos de Imagem

Figura 1 Imagem do autor

Figura 2 Imagem do autor

Parte I

Figura 1.01 <http://cdn.designworldonline.com/wp-content/uploads/2013/02/Sutherland-at-TX-2.jpg> [06/08/2015]

Figura 1.02 Fitch, J. (1964). Science Reporter: Computer Sketchpad. Fotogramas, disponível em https://www.youtube.com/watch?v=6orsmFndx_o [04/08/2015]

Figura 1.03 Fitch, J. (1964). Science Reporter: Computer Sketchpad. Fotogramas, disponível em https://www.youtube.com/watch?v=6orsmFndx_o [04/08/2015]

Figura 1.04 <http://www.architectureresearchlab.com/arl/wp-content/uploads/2010/08/bimhistory.jpg> [04/08/2015]

Figura 1.05 <http://www.architectureresearchlab.com/arl/wp-content/uploads/2011/08/Radar-CH.jpg> [04/08/2015]

Figura 1.06 http://www.mtent.com/images/iprofile/i1wtc/31_02_wtc_3d-cu.jpg [04/08/2015]

Figura 1.07 http://static.zhulong.com/photo/small/200605/29/29800_2_0_0_560_w_0.jpg [04/08/2015]

Figura 1.08 http://communities.bentley.com/products/products_generativecomponents/w/generative_components_community_wiki/aviva-stadium [03/09/2015]

Figura 1.09 http://www.patrikschumacher.com/Images/Digital%20Cities/ZHA_Singapore_overview1_sm.jpg [06/08/2015]

Figura 1.10

http://www.bdcnetwork.com/sites/bdc/files/styles/content_feed_large/public/AR1.jpg?itok=ZRjtLvmJ [15/09/2015]

Parte II

Figura 2.01 (Eastman et al., 2011, p. 10)

Figura 2.02 <http://mainstreetdesignbuild.com/wp-content/uploads/2011/01/Design-Build-Chart.jpg> Adaptação para português [03/09/2015]

Figura 2.03 <https://futurebuild.files.wordpress.com/2013/04/blog.png> [06/09/2015]

Parte III

Figura 3.01 <https://moreaadesign.files.wordpress.com/2010/09/model.jpg> [03/09/2015]

Figura 3.02 (Krygiel & Nies, 2008, p. 61)

Figura 3.03 <http://www.3dreid.com/wp-content/uploads/2014/11/Parametric-Massing-for-Effective-City-Design.pdf> Adaptação para português [04/09/2015]

Figura 3.04 http://www.building.co.uk/Pictures/web/l/x/f/East-India-Dock---Massing-Option_660.jpg [04/09/2015]

Figura 3.05 <http://www.3dreid.com/wp-content/uploads/2014/11/Parametric-Massing-for-Effective-City-Design.pdf> [04/09/2015]

Figura 3.06 (Araújo & Andrés, 2011)

Figura 3.07 (Krygiel & Nies, 2008, p. 39)

Figura 3.08

http://www.magicad.com/sites/default/files/images/Pages/Theme/BIM%20att%20its%20best_illustration_Grandlund_web2.jpg [16/09/2015]

Figura 3.09

http://www.bexelconsulting.com/services/pre_construction_services/ClashDetection.aspx [17/09/2015]

Parte IV

Figura 4.01 <https://happilylostwithcece.files.wordpress.com/2012/06/mesa-verde-cliff-palace.jpg> [05/09/2015]

Figura 4.02 (Krygiel & Nies, 2008, p. 30)

Figura 4.03 (Krygiel & Nies, 2008, p. 80)

Figura 4.04 <http://blog.buildllc.com/wp-content/uploads/2013/03/BUILD-BAV-06.jpg> [10/09/2015]

Figura 4.05 (Krygiel & Nies, 2008, p. 128)

Figura 4.06 (Krygiel & Nies, 2008, p. 132)

Figura 4.07 (Krygiel & Nies, 2008, p. 144)

Figura 4.08 (Krygiel & Nies, 2008, p. 145)

Figura 4.09 (Krygiel & Nies, 2008, p. 146)

Figura 4.10 (Krygiel & Nies, 2008, p. 147)

Figura 4.11 https://hvasshaug.files.wordpress.com/2014/09/origo-rvt_2014-aug-27_02-54-19-000_p_13-_interior_pixl.jpg [05/09/2015]

Figura 4.12 (Krygiel & Nies, 2008, p. 191)

Figura 4.13 http://www.pgal.com/media/portfolio/01_solar_canopy-3.jpg [06/09/2015]

Parte V

Figura 5.01 http://www.ark-lpr.fi/wp-content/uploads/2013/03/helsingin_musiikkitalo_018.jpg [06/09/2015]

Figura 5.02 (Eastman et al., 2011, p. 548)

Figura 5.03 (Eastman et al., 2011, p. 552)

- Figura 5.04 (Eastman et al., 2011, p. 553)
- Figura 5.05 (Eastman et al., 2011, p. 555)
- Figura 5.06 http://www.ark-lpr.fi/wp-content/uploads/2013/03/helsingin_musiikkitalo_034.jpg [06/09/2015]
- Figura 5.07 http://www.placenorthwest.co.uk/cms/wp-content/uploads/legacy-assets/images/nov_09/pnw__1259318051_Manchester_Central_Library_and.jpg [06/09/2015]
- Figura 5.08 <http://www.building.co.uk/bim-the-inside-story/5021676.article> [06/09/2015]
- Figura 5.09 <http://www.building.co.uk/bim-the-inside-story/5021676.article> [06/09/2015]
- Figura 5.10 <http://www.bdonline.co.uk/bim-the-inside-story-one-year-on/5039413.article> [15/09/2015]
- Figura 5.11 <http://www.building.co.uk/bim-the-inside-story/5021676.article> [06/09/2015]

